ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

Заполнение ведомости дефектов электродвигателей

Работу выполнить по вариантам:

1 вариант- заполнить ведомость 1

2 вариант- заполнить ведомость 2

Ведомость и ответы на вопросы выполнить в тетради.

**Заполнение ведомости дефектов при приемке в ремонт асинхронного электродвигателя**

Цель: Научиться заполнять ведомость дефектов

Материально- техническое обеспечение: раздаточный материал, справочники

**Краткие теоретические сведения**

При дефектации производят визуальный осмотр узлов и деталей машины, проводят необходимые измерения и испытания определяют целость отдельных деталей и сборочных единиц, состояние рабочих поверхностей для установления объема необходимого ремонта. Если сборочная единица не имеет повреждений ее разборку не производят. Разборка должна проводиться с использованием специального инструмента, чтобы не повредить детали и сборочные единицы.

 **Дефектация необмотанного статора**.

 При дефектации визуально проверяют наличие трещин, сколов и деформаций корпуса, состояние резьбовых отверстий, крепление сердечника в корпусе, наличие распушения крайних листов и выгорания отдельных листов сердечника, наличие коррозии. Плотность сборки сердечника проверяют щупом толщиной 0,2 мм, который под давлением руки должен входить между листами сердечника не более чем на 2. .3 мм. Распушение листов проверяют путем измерения штангенциркулем длины сердечника по дну пазов и по верхней части зубцов. В сердечниках длиной до 100 мм допускается распушение до 2 мм, а при длине 101... 150 мм — до 3 мм В двух взаимно перпендикулярных плоскостях производят измерение диаметров внутренней поверхности сердечника и замков корпуса, служащих для посадки подшипниковых щитов В машинах общепромышленного исполнения точность обработки замков должна находиться в пределах 7...9 квалитетов.
Необмотанный статор бракуется и не подлежит ремонту при наличии откола более двух лап, сквозных трещин в корпусе, выгорании одного или нескольких зубцов на длину более 50 мм или 1/3 длины сердечника, увеличении воздушного зазора более чем на 15% (25% — для двухполюсных машин) и при значительном повреждении сердечника.
Дефектация необмотанного якоря (ротора). Перед дефектацией должны быть отремонтированы центральные отверстия вала. Якорь (ротор) устанавливают шейками вала на призмы и производят его внешний осмотр, а также измеряют диаметр сердечника для дальнейшего расчета воздушного зазора, измеряют посадочные места шеек вала под подшипники и вентилятор, измеряют биение шеек вала и сердечника, проверяют состояние шпоночных пазов и выходного конца вала. После этого осматривают коллектор и контактные кольца для выявления подгаров, поджогов, оплавлений и неравномерной выработки, измеряют их биение относительно шеек вала, а также сопротивление изоляции коллектора и контактных колец.
Поверхности под посадку подшипников должны иметь допуск к4 .к6, под посадку вентилятора — h..hl0, под посадку коллектора — k..k8. Дефектация сердечника ротора проводится также, как сердечника статора.
Якорь бракуется и не подлежит ремонту, если имеется излом вала в любом сечении или значительный износ сердечника (в результате коррозии, абразивного износа и пр.). Для короткозамкнутых роторов асинхронных машин признаком брака является также обрыв литого стержня обмотки.

**Дефектация подшипниковых щитов**. Визуально проверяют наличие трещин и изломов, состояние резьбовых отверстий и приливов, измеряют посадочные места под подшипник и замка для посадки в корпус Поверхности под посадку подшипников должны иметь допуск Н..Н7, под посадку шита на корпус — h..h9. Признаками брака являются трещины и отколы в щите и на посадочных поверхностях.
 **Дефектация щеточного узла**. В ходе дефектации визуально проверяют состояние щеткодержателей, пружин, выводных проводов (кабелей) и канатиков щеток.
Зазор между щеткой и щеткодержателем не должен превышать 0,3.. 0,5 мм. Проверяется давление пружин на щетки, которое должно быть одинаковым у всех щеток и соответствовать заданному. Кроме того, измеряют сопротивление изоляции между щеткодержателем и корпусом.

К дефектам щеточного узла можно отнести: Излом пружины щеткодержателя

Ослабление нажатия пружины щеткодержателей. Пружины подлежат замене, если их нажатие на щетки меньше допустимого значения. Усилие нажатия измеряют динамометром

 Пробой или механическое повреждение изоляции пальца щеткодержателя. Следы пробоя или механического повреждения на изоляции пальца не допускаются

Срыв резьбы на пальце щеткодержателя. Срыв более одной нитки резьбы не допускается

Трещины, сколы или излом пальца щеткодержателя

Износ или обгорание внутренней поверхности щеткодержателя.

Сколы и трещины на рабочей поверхности щетки

Наплывы металла на обойме щеткодержателя

Износ щетки по высоте. Высота щеток должна быть не менее допустимого значения. Измерения проводят штангенциркулем

Износ боковых поверхностей щетки. Зазор между щеткой и обоймой должен быть в пределах от 0,2 до 0,5 мм в направлении оси электродвигателя и в пределах от 0,06 до 0,3 мм в направлении вращения ротора.

**Дефектация вентилятора и его кожуха**. В этом случае визуально проверяют целость поверхностей, отсутствие изломов, вмятин и других механических повреждений. У вентиляторов проверяют размер посадочной поверхности под вал. При обнаружении изломов проводят капитальный ремонт или рихтовку (выправление поверхности)

**Дефектация крепежных деталей.** Путем осмотра крепежных деталей (болты, шпильки, гайки) проверяют наличие трещин, надрывов возле головок болтов, деформации шпилек, состояние резьбы и наличие защитных покрытий. Качество резьбы проверяют резьбовыми кольцами Признаками брака являются повреждение более 20% ниток резьбы, трещины и надрывы у головок болтов, уменьшение диаметра шпилек и болтов из-за коррозии более чем на 10%.

**У валов электрических машин встречаются следующие дефекты**: повреждение приводного конца, износ шеек под подшипники, искривление оси, ослабление посадки сердечника, излом.
Неглубокие забоины на торце вала устраняют, снимая слой металла на токарном станке. Если уменьшение длины недопустимо, на торец электросваркой сначала наплавляют слой металла. Наплавку ведут от оси вала по спирали (рис. 1, а), чтобы уменьшить влияние термических напряжений. Забоины и вмятины на витках резьбы устраняют плашками или резцом на токарном станке. Сорванную резьбу наплавляют и нарезают заново.
Износ посадочных поверхностей и задиры на них происходят при съеме напрессованных на вал деталей. Износ может появиться также из-за свободной посадки на вал сопрягаемой детали. При небольшом количестве забоин и задиров выступающие места сошлифовывают. Если дефекты превышают 20% посадочной поверхности, вал ремонтируют, наплавляя металл электросваркой или методом металлизации. При сварке, если наплавляемая поверхность заканчивается высоким уступом, его стачивают на конус (рис. 1, б). Без такой подготовки в месте перехода при сварке возникают значительные термические напряжения, которые могут привести к поломке вала при эксплуатации. Для уменьшения коробления вала наплавляемые валики располагают параллельно оси, и каждый последующий валик 1 и 2, 3 и 4 накладывают диаметрально противоположно предыдущему. После наварки вал обрабатывают на токарном станке и шлифуют.
Шейки валов изнашиваются при монтаже и демонтаже подшипников, а также при проворачивании внутреннего кольца подшипника на валу. Интенсивный износ с задирами происходит при заклинивании подшипника. На износ большое влияние оказывают шероховатость и твердость поверхности. Шероховатость поверхности характеризуется высотой неровностей Rz и средним арифметическим отклонением профиля Ra.

Рис. 1. Исправление дефектов валов: а — наплавка торца, б — наплавка посадочной поверхности, в — ремонт шпоночного соединения, г — правка вала
Высота неровностей Ra для шеек валов под подшипники качения в соответствии со стандартом должна быть не более 2,5 мкм \* для подшипников нулевого класса при внутренних диаметрах подшипников выше 80 мм и 1,25 мкм \*\* при диаметрах до 80 мм. Для более высоких классов подшипников высота неровностей должна быть еще меньше. Неровности при монтаже подшипников сминаются, что приводит к ослаблению посадки.

\*Соответствует шероховатости поверхности V 6 по старому обозначению. \*\*Соответствует шероховатости поверхности V7 по старому обозначению.

Для шеек валов под подшипники скольжения характерно появление задиров из-за плохой подачи смазки к поверхностям скольжения и попадания в подшипник мелких твердых частиц.

Изношенные поверхности валов восстанавливают металлизацией с последующей механической обработкой. Для валов машин, работающих со значительными знакопеременными и ударными нагрузками, применяют вибродуговую наплавку, которая обеспечивает более прочное сцепление наращиваемого слоя с основным металлом.

Рис. 2. Прямая накатка на валах
В шпоночных соединениях изнашиваются как сами шпонки, так и пазы под них. Наиболее вероятная причина — ослабление посадки охватывающей детали (шкива, муфты) на валу машины. Боковые поверхности шпоночных пазов разрабатываются чаще всего у двигателей, работающих с частыми реверсами.
Изношенные шпонки заменяют новыми, пазы обычно восстанавливают электродуговой сваркой. На боковых стенках наваривают слой металла, затем производят механическую обработку (фрезерование, строжку), выдерживая точные размеры. Иногда ремонт осуществляют без наварки, расширяя и углубляя паз, переходя на больший размер шпонки и дорабатывая паз в ответной детали. Применяя специально изготовленную ступенчатую шпонку (рис. 1, в) и прорезая новую шпоночную канавку, паз в ответной детали можно сохранить. Новый паз в валу смещают на четверть окружности относительно старого.
Искривление валов встречается обычно у электродвигателей малой мощности. Валы правят на тихоходном гидравлическом или винтовом прессе после выпрессовки из сердечника или без разборки ротора. Вал 1 (рис. 1, г) концами кладут на призмы 4, установленные на столе 5 пресса, и, поворачивая его вокруг оси, устанавливают с помощью индикатора 2 выпуклостью вверх против штока 3 пресса. Правку производят в несколько приемов, контролируя биение после каждого нажима пресса.
Роторы с ослабленной посадкой сердечника ремонтируют, заменяя изношенный вал новым или восстановленным. Изношенные поверхности вала восстанавливают напылением или накаткой зубчатым роликом на токарном станке. Накатка необходима для увеличения диаметра, поэтому ее делают с достаточно большой глубиной. Шаг накатки t выбирается в зависимости от диаметра вала. После накатки первоначальный диаметр D (рис. 2) увеличивается на Д(0,25-0.5)t. После накатки поверхность шлифуют, снимая неровности и выдерживая заданный размер. На вал в процессе накатки передаются значительные радиальные усилия, поэтому недостаточно жесткий вал накатывают с люнетами, которые предохраняют его от изгиба.

**Задание:**

1. Расшифровать марку асинхронного двигателя

2. Заполнить ведомость дефектов, указав способ выявления дефекта и применяемый при этом инструмент. Указать способ ремонта

3. Ответить на вопросы письменно. Вопросы находятся на карточке- задании

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

Карточка- задание №1

**Заполнение ведомости дефектов при приемке в ремонт асинхронного электродвигателя**

**Цель:** Научиться заполнять ведомость дефектов

**Материально- техническое обеспечение**: раздаточный материал, справочники

 **Задание:**

1. Изучить теоретический материал по теме работы

2. Расшифровать марку асинхронного двигателя

3.Заполнить ведомость дефектов, указав способ выявления дефекта и применяемый при этом инструмент. Указать способ ремонта

4. Изучить вопросы для защиты практической работы. Сделать при необходимости краткий конспект изучаемого вопроса. Ответить на вопросы преподавателя устно. Вопросы находятся на карточке- задании

ВЕДОМОСТЬ ДЕФЕКТОВ

выявленных при приёмке электродвигателя в ремонт

Марка электродвигателя  АИР 63А2 IP 54 У3

«………» …………….20….г.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № пп | Описание дефекта | Способ выявления дефекта, измерительный инструмент | Способ ремонта /замена |
| 1. | Незначительные повреждения изоляционного покрытия лобовых частей обмотки статора | Осмотр | Нанесение лака на поврежденные участки |
| 2. | Увлажнение изоляции обмотки статора |  |  |
| 3. | Износ или срыв резьбы в отверстиях под болты крепления подшипниковых щитов, кожуха вентилятора и коробки выводов. |  |  |
| 4. | Излом вентиляционных лопаток. |  |  |
| 5. | Коррозия на телах качения подшипника |  |  |
| 6. | Вмятины на кожухе вентилятора |  |  |
| 7. | Трещины на поверхности коробки выводов |  |  |
| 8. | Увеличен воздушный зазор между статором и ротором на 10 % |  |  |
| 9. | Забоины на торце вала |  |  |
| 10. |  Излом лапы |  |  |

Составили: …………………..

Вопросы к защите практической работы

1. Системы технической диагностики электродвигателей
2. Особенности измерения температуры вращающихся частей электродвигателей
3. Измерение температуры электродвигателя термопарами
4. Измерение сопротивления изоляции обмоток электрических двигателей

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. М.М. Кацман/ Справочник по электрическим машинам
2. В.В. Москаленко / Справочник электромонтера
3. Н.Ф. Котеленец / Испытания, эксплуатация и ремонт электрических машин

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

Карточка- задание №2

**Заполнение ведомости дефектов при приемке в ремонт асинхронного электродвигателя**

**Цель:** Научиться заполнять ведомость дефектов

**Материально- техническое обеспечение**: раздаточный материал, справочники

**Задание:**

1. Изучить теоретический материал по теме работы

2. Расшифровать марку асинхронного двигателя

3.Заполнить ведомость дефектов, указав способ выявления дефекта и применяемый при этом инструмент. Указать способ ремонта

4. Изучить вопросы для защиты практической работы. Сделать при необходимости краткий конспект изучаемого вопроса Ответить на вопросы преподавателя устно. Вопросы находятся на карточке- задании

**ВЕДОМОСТЬ ДЕФЕКТОВ**

**Выявленных, при приёмке электродвигателя в ремонт**

**Марка электродвигателя 4А180 S2 У3**

**«………» …………….20….г.**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № пп | Описание дефекта | Способ выявления дефекта, измерительный инструмент | Способ ремонта /замена |
| 1. | Трещины или повреждения изоляции по всей длине выводных проводов обмотки статора. | Осмотр | Замена выводных проводов обмотки статора. |
| 2. | Ослабление пазовых клиньев в пазах. |  |  |
| 3. | Коррозия, следы задевания ротора за активную сталь статора. |  |  |
| 4. | Забоины и заусенцы на посадочных местах под подшипниковые щиты. |  |  |
| 5. | Износ поверхности контактных колец, наличие канавок  |  |  |
| 6. | Ослабление нажатия пружины щеткодержателей |  |  |
| 7. | Сколы и трещины на рабочей поверхности щетки. |  |  |
| 8. | Наличие на кольцах, шариках подшипника трещин и выкрашивания металла |  |  |
| 9. | Обгорание контактных болтов клеммной колодки |  |  |
| 10. | Повреждение окраски поверхности электродвигателя  |  |  |

Составили: …………………..

Вопросы к защите практической работы

1. Измерение вибрации электрических машин
2. Виды автоматизированного контроля воздушного зазора электромашин
3. Способ измерения температуры электрических двигателей с помощью терморезисторов
4. Проверка качества лаковой пленки после нанесения лака на листы и его запечки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. М.М. Кацман/ Справочник по электрическим машинам
2. В.В. Москаленко / Справочник электромонтера
3. Н.Ф. Котеленец / Испытания, эксплуатация и ремонт электрических машин

ДЕФЕКТАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАШИН

При дефектации производят визуальный осмотр узлов и деталей машины, проводят необходимые измерения и испытания определяют целость отдельных деталей и сборочных единиц, состояние рабочих поверхностей для установления объема необходимого ремонта. Если сборочная единица не имеет повреждений ее разборку не производят. Разборка должна проводиться с использованием специального инструмента, чтобы не повредить детали и сборочные единицы.

**Дефектация необмотанного статора**.

 При дефектации визуально проверяют наличие трещин, сколов и деформаций корпуса, состояние резьбовых отверстий, крепление сердечника в корпусе, наличие распушения крайних листов и выгорания отдельных листов сердечника, наличие коррозии. Плотность сборки сердечника проверяют щупом толщиной 0,2 мм, который под давлением руки должен входить между листами сердечника не более чем на 2. .3 мм. Распушение листов проверяют путем измерения штангенциркулем длины сердечника по дну пазов и по верхней части зубцов. В сердечниках длиной до 100 мм допускается распушение до 2 мм, а при длине 101... 150 мм — до 3 мм В двух взаимно перпендикулярных плоскостях производят измерение диаметров внутренней поверхности сердечника и замков корпуса, служащих для посадки подшипниковых щитов В машинах общепромышленного исполнения точность обработки замков должна находиться в пределах 7...9 квалитетов.
Необмотанный статор бракуется и не подлежит ремонту при наличии откола более двух лап, сквозных трещин в корпусе, выгорании одного или нескольких зубцов на длину более 50 мм или 1/3 длины сердечника, увеличении воздушного зазора более чем на 15% (25% — для двухполюсных машин) и при значительном повреждении сердечника.
Дефектация необмотанного якоря (ротора). Перед дефектацией должны быть отремонтированы центральные отверстия вала. Якорь (ротор) устанавливают шейками вала на призмы и производят его внешний осмотр, а также измеряют диаметр сердечника для дальнейшего расчета воздушного зазора, измеряют посадочные места шеек вала под подшипники и вентилятор, измеряют биение шеек вала и сердечника, проверяют состояние шпоночных пазов и выходного конца вала. После этого осматривают коллектор и контактные кольца для выявления подгаров, поджогов, оплавлений и неравномерной выработки, измеряют их биение относительно шеек вала, а также сопротивление изоляции коллектора и контактных колец.
Поверхности под посадку подшипников должны иметь допуск к4 .к6, под посадку вентилятора — h..hl0, под посадку коллектора — k..k8. Дефектация сердечника ротора проводится также, как сердечника статора.
Якорь бракуется и не подлежит ремонту, если имеется излом вала в любом сечении или значительный износ сердечника (в результате коррозии, абразивного износа и пр.). Для короткозамкнутых роторов асинхронных машин признаком брака является также обрыв литого стержня обмотки.

**Дефектация подшипниковых щитов**. В этом случае визуально проверяют наличие трещин и изломов, состояние резьбовых отверстий и приливов, измеряют посадочные места под подшипник и замка для посадки в корпус Поверхности под посадку подшипников должны иметь допуск Н..Н7, под посадку шита на корпус — h..h9. Признаками брака являются трещины и отколы в щите и на посадочных поверхностях.

**Дефектация щеточного узла**. В ходе дефектации визуально проверяют состояние щеткодержателей, пружин, выводных проводов (кабелей) и канатиков щеток.
Зазор между щеткой и щеткодержателем не должен превышать 0,3.. 0,5 мм. Проверяется давление пружин на щетки, которое должно быть одинаковым у всех щеток и соответствовать заданному. Кроме того, измеряют сопротивление изоляции между щеткодержателем и корпусом.

К дефектам щеточного узла можно отнести: Излом пружины щеткодержателя

Ослабление нажатия пружины щеткодержателей. Пружины подлежат замене, если их нажатие на щетки меньше допустимого значения. Усилие нажатия измеряют динамометром

 Пробой или механическое повреждение изоляции пальца щеткодержателя. Следы пробоя или механического повреждения на изоляции пальца не допускаются

Срыв резьбы на пальце щеткодержателя. Срыв более одной нитки резьбы не допускается

Трещины, сколы или излом пальца щеткодержателя

Износ или обгорание внутренней поверхности щеткодержателя.

Сколы и трещины на рабочей поверхности щетки

Наплывы металла на обойме щеткодержателя

Износ щетки по высоте. Высота щеток должна быть не менее допустимого значения. Измерения проводят штангенциркулем

Износ боковых поверхностей щетки. Зазор между щеткой и обоймой должен быть в пределах от 0,2 до 0,5 мм в направлении оси электродвигателя и в пределах от 0,06 до 0,3 мм в направлении вращения ротора

.

**Дефектация вентилятора и его кожуха**. В этом случае визуально проверяют целость поверхностей, отсутствие изломов, вмятин и других механических повреждений. У вентиляторов проверяют размер посадочной поверхности под вал. При обнаружении изломов проводят капитальный ремонт или рихтовку (выправление поверхности)

**Дефектация крепежных деталей.** Путем осмотра крепежных деталей (болты, шпильки, гайки) проверяют наличие трещин, надрывов возле головок болтов, деформации шпилек, состояние резьбы и наличие защитных покрытий. Качество резьбы проверяют резьбовыми кольцами. Признаками брака являются повреждение более 20% ниток резьбы, трещины и надрывы у головок болтов, уменьшение диаметра шпилек и болтов из-за коррозии более чем на 10%.

У валов электрических машин встречаются следующие дефекты: повреждение приводного конца, износ шеек под подшипники, искривление оси, ослабление посадки сердечника, излом.
Неглубокие забоины на торце вала устраняют, снимая слой металла на токарном станке. Если уменьшение длины недопустимо, на торец электросваркой сначала наплавляют слой металла. Наплавку ведут от оси вала по спирали (рис. 1, а), чтобы уменьшить влияние термических напряжений. Забоины и вмятины на витках резьбы устраняют плашками или резцом на токарном станке. Сорванную резьбу наплавляют и нарезают заново.
Износ посадочных поверхностей и задиры на них происходят при съеме напрессованных на вал деталей. Износ может появиться также из-за свободной посадки на вал сопрягаемой детали. При небольшом количестве забоин и задиров выступающие места сошлифовывают. Если дефекты превышают 20% посадочной поверхности, вал ремонтируют, наплавляя металл электросваркой или методом металлизации. При сварке, если наплавляемая поверхность заканчивается высоким уступом, его стачивают на конус (рис. 1, б). Без такой подготовки в месте перехода при сварке возникают значительные термические напряжения, которые могут привести к поломке вала при эксплуатации. Для уменьшения коробления вала наплавляемые валики располагают параллельно оси, и каждый последующий валик 1 и 2, 3 и 4 накладывают диаметрально противоположно предыдущему. После наварки вал обрабатывают на токарном станке и шлифуют.
Шейки валов изнашиваются при монтаже и демонтаже подшипников, а также при проворачивании внутреннего кольца подшипника на валу. Интенсивный износ с задирами происходит при заклинивании подшипника. На износ большое влияние оказывают шероховатость и твердость поверхности. Шероховатость поверхности характеризуется высотой неровностей Rz и средним арифметическим отклонением профиля Ra.

Рис. 1. Исправление дефектов валов: а — наплавка торца, б — наплавка посадочной поверхности, в — ремонт шпоночного соединения, г — правка вала
Высота неровностей Ra для шеек валов под подшипники качения в соответствии со стандартом должна быть не более 2,5 мкм \* для подшипников нулевого класса при внутренних диаметрах подшипников выше 80 мм и 1,25 мкм \*\* при диаметрах до 80 мм. Для более высоких классов подшипников высота неровностей должна быть еще меньше. Неровности при монтаже подшипников сминаются, что приводит к ослаблению посадки.

\*Соответствует шероховатости поверхности V 6 по старому обозначению. \*\*Соответствует шероховатости поверхности V7 по старому обозначению.

Для шеек валов под подшипники скольжения характерно появление задиров из-за плохой подачи смазки к поверхностям скольжения и попадания в подшипник мелких твердых частиц.

Изношенные поверхности валов восстанавливают металлизацией с последующей механической обработкой. Для валов машин, работающих со значительными знакопеременными и ударными нагрузками, применяют вибродуговую наплавку, которая обеспечивает более прочное сцепление наращиваемого слоя с основным металлом.

Рис. 2. Прямая накатка на валах
В шпоночных соединениях изнашиваются как сами шпонки, так и пазы под них. Наиболее вероятная причина — ослабление посадки охватывающей детали (шкива, муфты) на валу машины. Боковые поверхности шпоночных пазов разрабатываются чаще всего у двигателей, работающих с частыми реверсами.
Изношенные шпонки заменяют новыми, пазы обычно восстанавливают электродуговой сваркой. На боковых стенках наваривают слой металла, затем производят механическую обработку (фрезерование, строжку), выдерживая точные размеры. Иногда ремонт осуществляют без наварки, расширяя и углубляя паз, переходя на больший размер шпонки и дорабатывая паз в ответной детали. Применяя специально изготовленную ступенчатую шпонку (рис. 1, в) и прорезая новую шпоночную канавку, паз в ответной детали можно сохранить. Новый паз в валу смещают на четверть окружности относительно старого.
Искривление валов встречается обычно у электродвигателей малой мощности. Валы правят на тихоходном гидравлическом или винтовом прессе после выпрессовки из сердечника или без разборки ротора. Вал 1 (рис. 1, г) концами кладут на призмы 4, установленные на столе 5 пресса, и, поворачивая его вокруг оси, устанавливают с помощью индикатора 2 выпуклостью вверх против штока 3 пресса. Правку производят в несколько приемов, контролируя биение после каждого нажима пресса.
Роторы с ослабленной посадкой сердечника ремонтируют, заменяя изношенный вал новым или восстановленным. Изношенные поверхности вала восстанавливают напылением или накаткой зубчатым роликом на токарном станке. Накатка необходима для увеличения диаметра, поэтому ее делают с достаточно большой глубиной. Шаг накатки t выбирается в зависимости от диаметра вала. После накатки первоначальный диаметр D (рис. 2) увеличивается на Д(0,25-0.5)t. После накатки поверхность шлифуют, снимая неровности и выдерживая заданный размер. На вал в процессе накатки передаются значительные радиальные усилия, поэтому недостаточно жесткий вал накатывают с люнетами, которые предохраняют его от изгиба.

Основные дефекты электрических машин.

Поскольку стоимость диагностических систем весьма велика, применять их целесообразно лишь для диагностирования крупных электрических машин (синхронных генераторов, компенсаторов и двигателей переменного тока), простой или отказ которых может привести к большому экономическому ущербу.
Поэтому рассмотрим наиболее часто встречающиеся дефекты и их проявления, характерные для основных элементов конструкции крупных машин.

**Сердечник статора**:
- повреждение межлистовой изоляции, вызывающее местные перегревы;
В ослабление прессовки, вызывающее вибрацию пластин стали с повреждением межлистовой изоляции; распушение крайних пакетов, вызывающее излом листов;
- изменение формы статора гидрогенераторов из-за ослабления стыковки секторов статора, что может привести к касанию ротора и статора.

- Коррозия, следы задевания ротора за активную сталь статора. Этот дефект требует зачистки и нанесения лака

**Обмотка статора:**
- ослабление крепления стержней в пазу, вызывающее истирание изоляции стержня;
- повреждение полупроводящего покрытия стержня, вызывающее появление частичных разрядов (ЧР); расслоение изоляции, вызывающее ее ускоренное старение;
- нарушение изоляции элементарных проводников, вызывающее увеличение циркуляционных токов и местный перегрев обмотки;
- ослабление крепления лобовых частей, вызывающее истирание изоляции, смещение проводников и повышенную вибрацию лобовых частей;
- загрязнение, замасливание и увлажнение изоляции, вызывающее снижение электрической прочности изоляции;
-  трещины в изоляции, приводящие к снижению ее электрической прочности.

- Незначительные повреждения изоляционного покрытия лобовых частей обмотки статора или фазного ротора. Обмотка статора выбраковывается и электродвигатель подлежит капитальному ремонту при наличии:
значительных механических повреждений изоляции лобовых частей обмотки; почернения и обугливания обмотки или отдельных ее частей. При небольших нарушениях изоляционного покрытия лобовых частей производится покрытие их лаком.

- Обрыв или ослабление бандажей лобовых частей обмотки

- Механические повреждения отдельных участков изоляции выводных проводов обмотки статора.

- Трещины или повреждения изоляции по всей длине выводных проводов обмотки статора

- Увлажнение изоляции обмотки статора или фазного ротора.
Сушке подлежат обмотки статора и фазного ротора, имеющие сопротивление изоляции менее 0,5 МОм при 293\*К (20°С).
Обмотки статора или фазного ротора подлежат замене при капитальном ремонте электродвигателя, если после сушки сопротивление изоляции составляет менее 0,5 МОм при 293"К (20°С).

-Ослабление пазовых клиньев в пазах. Клинья выбраковываются, если при постукивании по ним молоточком в продольном направлении через наставку наблюдается их перемещение или при легких ударах по клиньям в радиальном направлении - вибрация.

- Нарушение пайки проволочных бандажей лобовых частей обмотки фазного ротора

 Для машин с непосредственным водяным охлаждением весьма опасным дефектом является увлажнение изоляции из-за нарушения герметичности системы охлаждения, вызывающее пробой в зоне стержня на выходе из паза.

Система непосредственного охлаждения:
закупорка каналов непосредственного охлаждения, приводящая к местным перегревам обмотки;
нарушение герметичности, приводящее к появлению дистиллята внутри корпуса и увлажнению изоляции.

**Ротор:**трещины в различных частях ротора турбогенератора или валу гидрогенератора, приводящие к повышенным вибрациям на оборотной частоте и изменению фазы вибрации;
нарушение целости бандажных колеи и клиньев обмотки ротора, приводящее к повышенным вибрациям.

Обмотка возбуждения:
повреждение корпусной изоляции и витковые замыкания, приводящие к повышенным вибрациям на оборотной частоте и появлению подшипниковых токов;
износ полых проводников при водяном охлаждении, приводящий к тепловому небалансу ротора и повышенным вибрациям.

Воздушный зазор (для гидрогенераторов и крупных асинхронных двигателей):
изменение формы зазора или соосности сердечников статора и ротора, приводящее к асимметрии тока в параллельных ветвях и к возможному задеванию ротора о статор с последующим разрушением последних.

**Подшипники и подпятники:**
. **Трещины или повреждения,** коррозия на телах качения, беговых дорожках, сепараторах подшипников. Подшипники выбраковывают при наличии на кольцах, шариках и роликах трещин и выкрашивания металла; при наличии на беговых дорожках цветов побежалости, выбоин и лунок; при наличии на беговых дорожках, шариках или роликах коррозии, отслоений металла, глубоких рисок; при наличии на сепараторе трещин, забоин и вмятин, отсутствии или ослаблении заклепок.

Исправный подшипник должен вращаться легко, без заметного притормаживания и заедания. При вращении должен слышаться глухой шипящий звук. Наличие резкого металлического дребезжания при вращении подшипника не допускается. Перед проверкой на вращение подшипники промывают в бензине с добавкой 10% автола или дизельного масла

Сильно поврежденные подшипники подлежат замене. Повреждения обнаруживают путем внешнего осмотра.

**- Износ подшипников.**
Подшипники подлежат замене, если их радиальный зазор превышает допустимый при текущем ремонте.

Средства и методы контроля состояния отдельных узлов.

**Сердечник статора.**
Ослабление прессовки сердечника приводит к его повышенной вибрации, которая контролируется специальными датчиками, установленными на корпусе машины. Повреждение межлистовой изоляции приводит к местным перегревам, которые контролируются либо термодатчиками, установленными в актив ной стали статора, либо тепловизорами, либо с помощью специальных термоиндикаторных покрытий. Эти покрытия наносятся на поверхность критических по перегревам узлов машины, и при достижении предельной температуры выделяют определенные газы и аэрозоли, которые выявляют при химическом анализе охлаждающего газа. На разные узлы машины наносятся покрытия различного химического состава, что позволяет не только зафиксировать
местные перегревы, но и идентифицировать их источники. Кроме покрытий на опасные места могут устанавливаться термочувствительные «этикетки», изменяющие свой цвет при превышении порогового значения температуры места установки. Осмотр «этикеток»  возможен только во время ревизии на остановленной машине.

 **Обмотка статора**.
Контроль теплового состояния обмотки осуществляется либо с помощью встроенных датчиков температуры, либо с помощью тепловизоров, либо путем химического анализа охлаждающего газа, в котором находятся продукты термического разложения изоляции. По концентрации продуктов разложения можно судить о степени перегрева изоляции. Контроль за местными перегревами можно проводить с помощью нанесения термоиндикаторных покрытий или термочувствительных «этикеток».
Контроль состояния изоляции осуществляется анализаторами ЧР. измеряющими интенсивность частичных разрядов. Сигналы на анализатор поступают от емкостных датчиков связи, устанавливаемых под пазовым клином. Существующие анализаторы ЧР позволяют распознать следующие дефекты обмотки статора: ослабление крепления обмотки в пазу, повреждение полупроводящего покрытия, расслоение или плохая пропитка изоляции, отслоение меди от корпусной изоляции, существенный износ изоляции, ослабление крепления обмотки. В связи с высокой информативностью анализаторы ЧР получили широкое распространение в системах диагностики крупных электрических машин.
Частичные разряды приводят к появлению озона в охлаждающем газе. Большая концентрация озона свидетельствует о наличии частичных разрядов в изоляции, связанных с повреждением полупроводящего покрытия.

 **Воздушный зазор**. Контроль воздушного зазора осуществляется с помощью систем оптического контроля, имеющих точность 0,05 мм при пределе измерения 40 мм. С помощью таких систем, имеющих датчики на статоре и роторе, удается выявить радиальные колебания статора, неравномерное расширение статора при нагревании, динамические изменения воздушного зазора при изменениях режима работы и биение вала.
В последнее время широко используются системы контроля воздушного зазора гидрогенераторов на базе емкостных датчиков. Они проще оптических и позволяют обойтись только датчиками, установленными на статоре. Самым простым инструменом для контроля зазоров является щуп, состоящий из набора калиброванных пластин.

**Подшипники и подпятники**. Для определения состояния подшипников осуществляется непосредственный (путем установки датчиков на баббитовых вкладышах) или косвенный (измерение температуры масла на входе и выходе подшипника) тепловой контроль, а также контроль вибрации.
Отдельно следует сказать о широко применяемых в настоящее время системах вибродиагностики. Эти системы позволяют получать достоверную информацию о наличии следующих дефектов: разбалансировка ротора, несоосность вала, неравномерность воздушного зазора, дефекты уплотнений, трещины в роторе, структурные резонансы и ряд других.
На базе комплекса методов выявления дефектов созданы автоматизированные системы контроля состояния крупных электрических машин. Так, созданная в России система СКДГ контролирует температуру, электрические и механические параметры и выдает предупредительные и аварийные сигналы при выходе измеряемых величин за допустимые пределы. Система имеет 120 каналов контроля, обрабатывает и сохраняет данные измерений и показатели режимов работы.
Наиболее универсальной в настоящее время считается разработанная по заказу EPR1 система HYDROSCAN (фирма «МСМ Enterprise Ltd», США). Система включает сканирующее устройство, являющееся по существу диагностической системой состояния статора и ротора гидрогенератора. Устройство   состоит из комплекта датчиков, стабилизатора питания, телеизмерительной системы, управляющего контроллера и пульта управления. Измерение температуры на статоре производится со стороны ротора, а температуры ротора — со стороны статора.
Сканирование поверхности расточки статора производится датчиками 6, установленными на роторе в межполюсном пространстве. Имеется 14 полос измерения температуры, обегающих все пазы статора (соответствует 7056 точкам измерения температуры на сердечнике статора). Частота опроса по пазам составляет 1 кГц, чувствительность — PC на площади длиной 2,5 см и шириной, равной ширине зубца.

Устройство диагностической системы HYDROSCAN.
1 — стабилизированный источник питания, 2 спицы ротора; 3 — полюса ротора; 4 — приемник сигналов датчиков, установленных на роторе; 5 - статор; 6 — линейка датчиков;

Развивающиеся повреждения стержней обмотки статора гидрогенератора, которые сопровождаются частичными разрядами в изоляции, определяются с помощью радиочастотных датчиков. Для получения большей чувствительности и точности фиксации места разряда эти датчики устанавливают на оси полюса. Кроме того, контроль за частичными разрядами ведется с помощью емкостных датчиков, встроенных в пазы статора.
Контроль величины воздушного зазора осуществляется двумя индуктивно связанными катушками, закрепленными в воздушном зазоре. Разрешающая способность измерений воздушного зазора составляет 0,64 мм. В зазоре измеряется также вращающаяся составляющая магнитною поля (по трем осям с помощью датчиков Холла), позволяющая выявить витковые замыкания в катушках статора.
**Выявление ослабления пазовых клиньев, крепления лобовых частей и вибрации сердечника статора** осуществляется путем анализа шума с помощью трех микрофонов, установленных в блоке датчиков. В блоке датчиков установлены также акселерометр для измерения вибрации ротора, устройство питания датчиков и оптоволоконное устройство передачи данных на приемник 4
Система диагностики (сканирующее устройство является ее частью) контролирует температуру воздуха в воздушном зазоре, состояние подшипников и щеточно-контактного аппарата.
Основным направлением развития систем диагностики является автоматизация.


Расположение датчиков в диагностической системе SUPER:
1 — датчики температуры обмотки статора; 2 — датчики температуры охлаждающей воды; 3 — датчик температуры охлаждающего воздуха; 4 — датчик температуры окружающего воздуха; 5 — емкостные датчики смешения; 6 — датчики вибрации на подпятнике (вибрации на оборотной частоте и частоте сети); 7—датчики вибрации (по двум осям в горизонтальной плоскости); 8 — датчики температуры корпуса Подшипников, масла и охлаждающей воды; 9 — датчики температуры масла и виброускорсния в подпятнике; 10 — датчики смешения; 11 — датчики вибрации вала: 12 — датчики положения направляющего аппарата; 13 — датчики состояния кольцевого уплотнения турбины

Примером автоматизированных систем может служить система SUPER, установленная на одной из канадских ГЭС. Система контролирует следующие характеристики основных узлов гидроагрегата.

Генератор:
измерение температуры обмотки статора (датчики 1), охлаждающей воды (датчики 2), охлаждающего (датчики 3) и окружающего (датчики 4) воздуха;
положение ротора относительно статора (датчики 5); напряжение и силу тока обмоток статора и ротора, активную и реактивную мощность генератора, коэффициент мощности;
вибрации на оборотной частоте и на частоте сети (датчики 6 на верхнем подшипнике). Подшипники:
вибрации по двум осям в горизонтальной плоскости (датчики 7): температуру на корпусе подшипников, температуру масла и воды охлаждающей системы (датчики 8)
вибрации на подпятнике (датчики 9), а также расход масла в системе смазки и воды в системе уплотнения.

Возбудитель генератора:
износ щеток (по температуре контактных колец); частоту вращения.
Кроме того контролируется работа гидротурбины и направляющего аппарата (датчики 10... 13).
Система SUPER фиксирует каждую минуту 52 механических и 10 электрических параметров и содержит 50 уставок на сигнал. В основной процессор данные передаются обычно один раз в час. В случае срабатывания какой-либо из уставок (сигнал тревоги — выход контролируемого параметра за допустимые пределы) в процессор передаются данные за предыдущий час работы. Математическое обеспечение позволяет обрабатывать и передавать сигналы датчиков, отбирать их для базы данных, осуществлять постоянный контроль и анализ в режиме «on-line» и проводить специальные тесты.
В системах функциональной диагностики нашли широкое применение устройства контроля химических и механических примесей в охлаждающем газе, позволяющие определять перегревы изоляции (по продуктам ее тепловой деструкции или по продуктам разложения термочувствительных покрытий) и степень ее механического износа (по составу и количеству механических примесей). Эти устройства могут быть как стационарными (для постоянного контроля состояния изоляции), так и переносными (для периодического контроля состояния изоляции).
Применение систем функциональной диагностики совместно с испытаниями и проверками во время ревизий и осмотров позволяет максимально увеличить межремонтный период, а при необходимости проведения ремонта более точно определить место и степень повреждения, минимизировав тем самым его объем и время проведения.

Целью системы технической диагностики любого оборудования, в том числе электрических машин и трансформаторов, являете я определение фактического технического состояния оборудования для организации его правильной эксплуатации, технического обслуживания и ремонта, а также выявление возможных неисправностей на раннем этапе их развития. Все виды затрат на функционирование системы технической диагностики должны быть минимизированы.

Плановая техническая диагностика проводится в соответствии с действующими нормами и правилами. Кроме того, она позволяет судить о возможности дальнейшей эксплуатации оборудования, когда оно отработало нормативный срок службы. Внеплановая техническая диагностика оборудования проводится в случае обнаружения нарушений его технического состояния. Если диагностика проводится во время работы оборудования, она называется функциональной.

В России и в других странах разработаны диагностические системы, основанные на различных физических и математических моделях, являющихся ноу-хау производителя. Поэтому детальное описание алгоритма и математического обеспечения таких систем в литературе, как правило, отсутствует.

В России созданием таких систем занимаются ведущие заводы—производители электрических машин и трансформаторов совместно с ведущими НИИ (ВНИИЭ, ВНИИ Электромаш, ВНИИЭМ, ВЭИ и др.). За рубежом работы по созданию диагностических систем координируются научно-исследовательским институтом электроэнергетики Е PRI (США).

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ СТАТОРОВ И РОТОРОВ С ПОМОЩЬЮ ЕЛ-1У4

Цель работы изучить способы проверки витковых замыканий, обрывов, некачественных контактов в соединениях и правильность схемы соединения и определить с помощью аппарата ЕЛ-1У4 исправность работы обмоток двигателей.

Описание прибора

Аппарат ЕЛ-1У4 предназначен

- для обнаружения витковых замыканий и обрывов в обмотках электрических машин и аппаратов;

- для нахождения паза с короткозамкнутыми витками в обмотках статоров, роторов и якорей электрических машин;

- для проверки правильности соединения обмоток электрических машин по схеме, а так же маркировки выводных концов фазных обмоток электрических машин.

Ход работы

- Подготовка к работе;

- Нахождение пазов с короткозамкнутыми витками: Для нахождения в машине паза с короткозамкнутыми витками нужно пользоваться приспособлением с двумя П-образными электромагнитами



Переставляя оба электромагнита приспособления с паза на паз по расточке статора или по поверхности ротора, на экране электронно-лучевой трубки мы будем наблюдать следующее:

- —при отсутствии в пазу статора короткозамкнутых витков на экране трубки появится прямая или кривая линия с малыми амплитудами;

- —при наличии в пазу короткозамкнутых витков на экране трубки появятся две кривые с большими амплитудами, вывернутыми по отношению друг к другу.

- —При диагностики ротора картина с кривыми противоположная, т.е. при наличии дефектов в пазе ротора  на экране появится прямая или кривая линия с малыми амплитудами.

По этим кривым и находят паз с короткозамкнутыми витками.

Проверка статора

Все проверенные 48 пазов статора находятся в работоспособном состоянии. Такому состоянию соответствует следующие характеристики на экране осциллографа:



Проверка ротора

Так как проверялся короткозамкнутый ротор, то наличие на осциллограмме двух кривых с достаточно большими амплитудами говорит о его исправности.



Осциллограмма, показанная на рисунке соответствует неисправности пазов ротора, в данном случае между пазами специально введена искусственная неисправность.



Вывод

- В ходе проведенной работы были изучены способы проверки витковых замыканий, обрывов, некачественных контактов в соединениях и  правильность схемы соединения, также с помощью аппарата ЕЛ-1У4 была определена работоспособность обмоток роторов и статоров электрических двигателей.

- Обмотки статора двигателя исправны и могут эксплуатироваться в дальнейшем. Ротор имеет видимый дефект в одном из пазов, об этом свидетельствуют  полученные характеристики. Неисправности в роторе необходимо устранить.

ДИАМЕТРЫ ПОСАДОЧНЫХ МЕСТ ПОД ПОДШИПНИКИ НА ВАЛАХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Номинальные и допустимые значения диаметров посадочных мест под подшипники на валах электродвигателей

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Тип электродвигателя | Частота вращения, об/мин | Диаметр посадочного места под подшипники, мм |
| номинальный | допустимый |
| 4АА56 | Все частоты вращения | 12 ±0,006 | 11,99 |
| 4АА63 | 15 ±0,006 | 14,99 |
| 4А71 | 20+0,017/+0,002 | 19,99 |
| 4А80,4А90 | 25 +0,017/+0,002 | 24,99 |
| 4А100 | 30 +0,017/+0,002 | 29,99 |
| 4А112 | 3000 | 35 +0,020/ +0,003 | 34,98 |
| 1500 | 34,99 |
| 1000 |
| 750 |
| 4А132 | 3000 | 45 +0,020/ +0,003 | 44,98 |
| 1500 | 44,99 |
| 1000 |
| 750 |
| 4А160 | 3000 | 50+0,020/+0,003 | 49,98 |
| 1500 | 49,99 |
| 1000 |
| 750 |
| 4А180 | 3000 | 60 +0,023/ +0,003 | 59,98 |
| 1500 | 59,99 |
| 1000 |
| 750 |
| 4А200 | 3000 | 65 + 0,023/ + 0,003 | 64,98 |
| 1500 |
| 1000 | 64,99 |
| 750 |
| 4А225 | 3000 | 70 + 0,023/+ 0,003 | 69,98 |
| 1500 |
| 1000 | 69,99 |
| 750 |
| 4А250,4А280 | Все частоты вращения | 85 +0,026/ +0,003 | 84,98 |
| 4А315,4АН315 | 95 +0,026/+0,003 | 94,98 |
| 4А355,4АН355 | 110 +0,026/ +0,003 | 109,98 |

ДОПУСКАЕМАЯ НЕСООСНОСТЬ ВАЛОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

|  |  |
| --- | --- |
| Частота вращения, об/мин | Значение допускаемой несоосности валов, мм, для муфт жесткой (фланцевой) |
|   | втулочно-пальцевой с пластинами из прорезиненной ткани, пружинных | зубчатых |
| Подшипники скольжения | Подшипники качения |
| 3000 | 0,03 | 0,04 | 0,08 | 0,12, |
| 1500 | 0,04 |
| 750 | 0,08 | 0,10 | 0,15 |
| 500 | 0,08 | 0,15 | 0,20 |

ДОПУСТИМЫЕ БИЕНИЯ ПОЛУМУФТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

|  |  |
| --- | --- |
| Тип муфты | Допустимое биение полумуфт, мм, при частоте вращения, об/ мин |
| 3000—1500 | 1000 и ниже |
| Жесткая (фланцевая)Втулочно-пальцевая и с пластинами из прорезиненной ткани, пружинные | 0,02 0,03 | 0,03 0,05 |
| Зубчатые | 0,06 |

ДОПУСТИМЫЕ ВИБРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

**Допустимые вибрации электрических машин массой до 2000 кг** (ГОСТ 16921—71).

Классы/максимально допустимые эффективные значения вибрационной скорости, мм/с: 0,28/0,28; 0,45/0,45; 0,7/0,7; 1,1/1,1, 1.8/1,8: 2.8/2,8: 4.5/4,5: 7/7.
Стандарт распространяется на вращающиеся электрические машины общеспециального применения с массой машин 0,25...2000 кг и рабочей частотой вращения 600... 12000 об/мин.

**Допустимые вибрации электрических машин массой свыше 2000 кг** (ГОСТ 20815—75).

Среднеквадратичное значение вибрационной скорости в октавной полосе v0 подшипниковых опор для электрических машин с последующим пересчетом по формуле ηном = 600 об/мин и более не должно превышать:
ηном, об/мин  3000 1500 1000 750 600
Vo, мм/с             3,3 2,8 2,4 2,1 1,8
Допускается определение v0 подшипниковых опор путем измерения вибрационного перемещения с последующим пересчетом по формуле v0= 0,74Т0~3 Ап, где Ап — пиковое значение вибрационного перемещения подшипниковых опор электрических машин.

**Допустимые вибрации электродвигателя** (ПТЭ):
ηном ротора, об /мин                3000 1500 1000 750 и ниже

**Допустимая вибрация подшипников**, мкм      50 100 130           160

ДОПУСТИМЫЕ ПРЕВЫШЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

А. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
Предельные допустимые температуры частей электрических машин при температуре газообразной охлаждающей среды 40 °С и высоте над уровнем моря не более 1000 м, если они не указаны в стандартах на отдельные виды машин, приведены в табл. 1 в соответствии с общими техническими требованиями ГОСТ  183—74.

Таблица 1

|  |  |
| --- | --- |
| Части электрических машин | Предельная допустимая температура, °С, при использовании изоляционных материалов классов «но ГОСТ «865—70 |
| А | Е | В | F             |             Н |
| при измерении методом |
| тер-мо-мет-ра | со-про-тив-ле-ния | температурных индикаторов при укладке их между катушками в одном пазу | тер-мо-мет-ра | со-про-тив-ле-ния | температурных индикаторов при укладке их между катушками в одном пазу | тер-мо-мет-ра | со-про-тив-ле-нкя | температурных индикаторов при укладке их между катушками в одном пазу | тер-мо-мет-ра | со-про-тив-ле-ния | температурных индикаторов при укладке их между катушками в одном пазу | тер-мо-мет-ра | со-про-ТИ8-ле-ния | температурных индикаторов при укладке их между катушками в одном пазу |
| 1. Обмотки переменного    тока машин мощностью 5000 кВХ X А и выше или с длиной сердечника 1 м и более |   | 60 |   | 70 |   | 80 |   | 1000 |   | 125 |
| 2. Обмотки:а) обмотки переменного тока   машин мощностью | 50 | 60 | — | 65 | 75 | — | 70 | 80 | — | 85 | 100 | — | 105 | 125 | — |

Продолжение табл. 1716-1

|  |  |
| --- | --- |
|   | Предельная допустимая температура,°С. при использовании изоляционных материалов классов (по ГОСТ 8865—70) |
|   |   | А |   |   | Е |   |   | В |   | F |   |   | Н |
|   | при измерения методом |   |   |
| Части электрических машин | тер-мо-мет-ра | со-про-тнв-ле-ния | температурных индикаторов при укладке их между катушками в одном пазу | тер-мо-мет-ра | со-про-тив ле-иия | температурных индикаторов при укладке их между катушками в одном пазу | тер-ио-мет-ра | со-про-тив-ле-ния | температурных индикаторов при укладке их между катушками в одном пазу | тер-мо-мет-ра | со-про-тив-ле-ния | температурных индикаторов при укладке их между катушками в одном пазу | тер-мо-мет-ра | со-про-тив-ле-ния | температурных индикаторов при укладке их между катушками в одном пазу |
| менее    5000 кВ • А или с длиной сердечника менее 1 м 6) обмотки возбуждения машин постоянного и переменного тока с   возбуждением постоянным током, кроме указан- | 50 | 60 |   | 65 | 75 | — | 70 | 80 | — | 85 | 100 | — | 105 | 125 | — |
| ных в пп. 3, 4, 5 настоящей таблицы в) якорные обмотки, соединенные с коллектором | 50 | 60 | — | 65 | 75 | — | 70 | 80 | — | 85 | 100 | — | 105 | 125 | — |  |
| 3. Обмотки возбуждения неяв-нополюсных машин с возбуждением постоянным током |   |   |   |   |   |   |   | 90 |   |   | 110 |   |   |   |   |  |
| 4. Обмотки:а) однорядные обмотки возбуждения с оголенными поверхностямиб) стержневые обмотки роторов асинхронных   машин | 65 | — | 80 | — | 90 | — | ПО | — | 135 |  |  |

ДОПУСТИМЫЙ УРОВЕНЬ ВЗРЫВОЗАЩИТЫ ИЛИ СТЕПЕНЬ ЗАЩИТЫ ОБОЛОЧКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Допустимый уровень взрывозащиты или степень защиты оболочки электрических машин (стационарных и передвижных) в зависимости от класса взрывоопасной зоны

|  |  |
| --- | --- |
| Класс взрывоопасной зоны |  Уровень взрывозащиты или степень защиты  |
| B-I | Взрывоопасное |
| B-Ia, В-1г | Повышенной надежности против взрыва |
| B-I6 | Без средств взрывозащиты. Оболочка со степенью защиты не менее IP44. Искряшие части машины (например, контактные кольца) должны быть заключены в оболочку также со степенью защиты не менее IP44 |
| B-II | Взрывобезопасное |
| B-IIa | Без средств взрывозащиты. Оболочка со степенью защиты IP54. Искрящие части машины (например, контактные кольца) должны быть заключены в оболочку также со степенью защиты IP54. |

ИЗМЕРЕНИЕ ВИБРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Датчики вибраций по способу измерения можно разделить на две группы — контактные и бесконтактные. Преимуществом бесконтактных датчиков является возможность проведения измерений с высокой точностью в труднодоступных местах в условиях воздействия внешних электромагнитных полей. В качестве этих датчиков могут использоваться оптические, электромагнитные, электрические, радио вол новые, акустические и радиационные устройства, механически не связанные с испытуемой машиной и поэтому не вносящие искажений в картину вибраций. Однако при промышленных испытаниях используются более дешевые контактные датчики, масса которых незначительна и поэтому их применение практически не вносит искажений в вибрационное состояние исследуемых трансформаторов и электрических машин, включая машины малой мощности.
В качестве контактных датчиков вибрации получили распространение электродинамические и пьезоэлектрические датчики, электрические сигналы на выходах которых пропорциональны скорости вибрации и вибрационному ускорению соответственно. Чтобы точность измерения вибраций была удовлетворительной, масса датчика не должна превышать 5 % от массы измеряемого объекта. Наиболее миниатюрными являются пьезоэлектрические датчики (акселерометры), активный элемент которых изготовлен на основе пьезокварца, цирконато-титановых керамик или титаната бария.
Выбор материала пьезоэлектрического датчика определяется допустимой величиной температурной погрешности. Использование цирконато-титановых керамик обеспечивает работу датчика с погрешностью ±20% в диапазоне 200... 250 "С, при погрешности ±5 % температурный диапазон сокращается до 40...60 С.
При использовании кварца обеспечивается погрешность ±2 % в диапазоне до 400 С. Для измерения вибрации в зоне температур до 100 С высокую точность дает применение титаната циркония или бария.

ИЗМЕРЕНИЕ ЗАЗОРОВ, БИЕНИЙ И ВИБРАЦИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

А. ИЗМЕРЕНИЕ ЗАЗОРОВ МЕЖДУ РОТОРОМ И СТАТОРОМ
Измерение зазора производят щупами длиной 250 мм, состоящими из набора калиброванных пластин, или же при больших зазорах (в турбогенераторах) специальным щупом. При отсутствии такого щупа можно изготовить набор щупов (рис. 1) из проволоки диаметром 2—3 мм и проверить их штангенциркулем. Такой щуп вводят в зазор плашмя параллельно оси машины, а затем для измерения поворачивают на 90° (устанавливая в положение, изображенное на рис. 1).



Рис. 1.**Проволочный щуп для измерения больших зазоров между ротором и статором**

При измерениях щуп должен соприкасаться со сталью статора (полюсов) и ротора (якоря), не попадая на пазовый клин или бандаж. При работе необходимо следить за тем. чтобы места измерений и поверхность щупа были чистыми.
Зазор измеряют с обеих сторон машины в нескольких точках, обычно в четырех, сдвинутых относительно друг друга на 90°. В машинах большого диаметра измерение производят в шести или восьми точках. В машинах постоянного тока и в явно полюсных синхронных машинах измерения производят под серединой каждого полюса. Измеряют 3—4 раза, каждый раз поворачивая ротор или якорь на 90°. Средним зазором в каждой данной точке является среднее арифметическое всех полученных значений в данной точке.
Если при указанных измерениях во всех точках получаются значительные отклонения в величине зазоров при различных положениях ротора, то необходимо проверить совпадение осей и цилиндричность поверхностей статора и ротора.
Для проверки формы расточки статора его окружность разделяют на 6, 8, 12 и т. д. частей (рис. 2) в зависимости от диаметра статора. В машинах постоянного тока берут число точек, равное числу полюсов. К каждой точке статора или к каждому полюсу подводят одну и ту же точку ротора или якоря (точку б) и измеряют зазор. Для проверки цилиндричности поверхности ротора поступают аналогично, разделяя на столько же равных частей окружность в синхронных машинах с явно выраженными полюсами, число точек берут равным числу полюсов.
В этом случае каждую из указанных точек ротора подводят к одной и той же точке статора (точке а) и производят измерения.
Средним зазором в машине является среднее арифметическое значение всех измеренных зазоров. Наибольшие отклонения от среднего зазора имеют место в точках совмещения наибольшего радиуса статора с наименьшим радиусом ротора и наименьшего радиуса статора с наибольшим радиусом ротора. Анализировать результаты измерений удобно, если они записаны по форме табл. 1.


Рис. 2. **Проверка формы расточки статора и ротора**
Таблица 1

|  |  |
| --- | --- |
| Точки статора | Точки ротора |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| I2 3 4 5 6 |   |   |   |   |   |   |

**Регулирование зазора между ротором и статором производят, изменяя толщину и число прокладок под лапами статора и передвигая статор по горизонтали.** При монтаже иногда статор опускают на 0,2—0,3 мм, но в пределах допустимых отклонений, для получения внизу несколько большего зазора.
Наибольшие отклонения измеренных зазоров не должны превышать (по данным завода «Электросила») следующих величин:
Измеренный наименьший зазор до 0,5 мм.....+10%
Измеренный средний зазор, мм:
0,6-10...............      ±10%
10—20...............       ± I мм
больше 20..............±5%
Для добавочных полюсов в машинах постоянного тока допустимое отклонение от среднего зазора составляет ±5 %.

ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Материалы, применяемые при изоляции обмоток электродвигателей, не являются идеальными диэлектриками и в зависимости от своих физико-химических свойств являются в большей или меньшей степени токопроводящими. Сопротивление изоляции обмоток помимо конструкции самой изоляции и примененных материалов в значительной степени зависит также от влажности изоляции, механических повреждений и загрязнения поверхности.
О сопротивлении изоляции судят по значению проходящего через нее тока при приложении постоянного напряжения. Сопротивление изоляции измеряют мегаомметром с ручным или электрическим приводом либо сетевым мегаомметром, а также методом вольтметра.
Как известно, сопротивление изоляции измеряется в Омах, но так как в обмотках двигателей оно обычно 20 очень велико, то принято его выражать в миллионах ом (мегаомах), откуда и происходит название прибора. Мегаомметр (рис.1) представляет собой генератор постоянного тока, к выводам которого подсоединяется измеряемое сопротивление. Мегаомметр по существу фиксирует ток, проходящий через измеряемое сопротивление, но для удобства пользования шкала его измерительного прибора отградуирована непосредственно в мегаомах.

Рис. 1. Принципиальная схема мегаомметра.
Г — генератор постоянного тока;  1 — последовательная обмотка мегаомметра; 2 — параллельная обмотка мегаомметра; г1, г2 — ограничивающие сопротивления; Л — линейный зажим; 3 — зажим для присоединения заземления; К — кнопка включения; Э — корпус электродвигателя; О — обмотка электродвигателя.

В качестве измерительного прибора в мегаомметре применяется логометр, в котором взаимодействуют две обмотки — обмотка 1, соединенная последовательно с измеряемым сопротивлением, и обмотка 2, подключенная параллельно выводам генератора. Перед измерением производится упрощенная проверка мегаомметра: при вращении ручки и замкнутых накоротко зажимах мегаомметра показание прибора должно быть равно нулю, при разомкнутых — бесконечности. Обмотку перед измерением сопротивления ее изоляции на 1—2 мин заземляют для того, чтобы могущие быть в ее изоляции остаточные заряды стекли в землю и не повлияли на результаты испытания.
Провода, соединяющие мегаомметр с испытуемой обмоткой, а также с корпусом электродвигателя, должны иметь усиленную и надежную изоляцию. Ручку мегаомметра следует вращать по возможности равномерно, частота вращения должна быть около 150 об/мин. После разворота ручки мегаомметра до указанной частоты вращения включают кнопку К и тем самым испытуемая обмотка подключается к генератору мегаомметра. В мегаомметрах, у которых кнопки нет, после разворота ручки провод от зажима Л подключают к обмотке электродвигателя щупом (стальная острозаточенная игла с изолированной ручкой из текстолита или эбонита).
В начале замеров стрелка прибора делает бросок к началу шкалы, затем показание прибора медленно начинает увеличиваться и через некоторое время (15—60 с) стрелка устанавливается в некотором положении. Первоначальный бросок стрелки, соответствующий повышенному току генератора мегаомметра, вызывается зарядным током, определяемым емкостью изоляции, который быстро затухает. Относительно медленное движение стрелки после спада емкостного тока определяется токами абсорбции.
Изоляция не является монолитной, ее можно рассматривать состоящей из ряда слоев, т. е. последовательно соединенных емкостей. При приложении напряжения внутренние емкости в этой цепочке заряжаются через сопротивление предшествующих. При хорошей, сухой изоляции сопротивление каждого слоя велико и зарядный ток мал. Поэтому процесс заряда происходит медленно. При сырой изоляции процесс протекает быстро и также быстро стрелка прибора достигает своего максимального значения.
Установившееся показание прибора свидетельствует об окончании зарядки внутренних слоев изоляции (при этом ток абсорбции равен нулю). Это показание определяется только так называемым током сквозной проводимости, т. е. током, проходящим внутри изоляции по капиллярам, заполненным влагой, и током, проходящим по наружной поверхности изоляции, которая всегда в некоторой степени загрязнена и увлажнена.
Таким образом, судить о состоянии изоляции следует по значению тока сквозной проводимости и по скорости спадания тока абсорбции, которая определяется коэффициентом абсорбции 
где R15 и R60 — сопротивления изоляции, отсчитанные соответственно через 15 и 60 с после достижения мегаомметром полной частоты вращения.
При хорошей, сухой изоляции коэффициент абсорбции составляет 1,5—2,0, а для увлажненной приближается к единице. Минимальной нормой следует считать &абс=1,3.
Сопротивление изоляции электрической машины относительно ее корпуса и сопротивление изоляции между обмотками при рабочей температуре должно быть не менее значения, получаемого по формуле, но не менее 0,5 МОм:
где U — номинальное напряжение машины, В; Р — номинальная мощность машины, кВт.
Сопротивление изоляции сильно зависит от температуры; с увеличением температуры оно снижается, а при уменьшении температуры повышается. Поэтому, если измерение сопротивления изоляции производится при температуре ниже рабочей, полученное по приведенной формуле сопротивление изоляции следует удваивать на каждые 20°С (полные или неполные) разности между рабочей температурой и той температурой, при которой выполнено измерение. Практически у электродвигателей с высушенной и неповрежденной изоляцией обмотки значение сопротивления изоляции всегда бывает выше нормируемого.
Примененное выше выражение «рабочая температура машины» нуждается в разъяснении.
Рабочей температурой любой части машины называют практически установившуюся температуру этой части, соответствующую номинальному режиму работы машины при неизменной температуре окружающей среды. Очевидно, что каждый тип и типоисполнение электродвигателя имеют свою рабочую температуру; она зависит от конструкции двигателя и его вентиляции, расчетных нагрузок и расчетной температуры охлаждающей среды и может быть приближенно определена тепловым расчетом, выполняемым при проектировании электродвигателя (или серии электродвигателей).
Определенная расчетом рабочая температура позволяет выбрать конструкцию изоляции двигателя и класс ее нагревостойкости   таким образом, чтобы была обеспечена длительная работа электродвигателя при номинальном режиме. Поэтому по классу нагревостойкости изоляции, примененной в исполнении завода-изготовителя, можно судить о рабочей температуре электродвигателя. Эти сведения приведены ниже.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Класс нагревостойкости изоляции . | А | Е | В | F | Н |
| Принимаемая раиочая температура |   |   |   |   |   |
| электродвигателя, \*С       | 100 | 110 | 120 | 140 | 165 |

ГОСТ  1628-75 предписывает применять при измерении сопротивления изоляции обмоток электродвигателей с номинальным напряжением до 500 В включительно мегаоммегр на 500 В и для электродвигателей напряжением выше 500 В — мегаомметр на 1000 В. Рекомендуется применять мегаомметры, которые приводятся во вращение не вручную, а приводным электродвигателем. Помимо облегчения проведения испытаний это значительно повышает точность результатов.
Для электродвигателей, у которых выведены концы и начала всех фаз, измерение сопротивления изоляции производят между каждой фазой и корпусом. В этом случае допустимое минимальное сопротивление изоляции фазы должно быть повышено в 3 раза.
При измерении сопротивления изоляции каждой из электрических цепей все прочие цепи соединяют с корпусом машины. По окончании измерения сопротивления изоляции каждой электрически независимой цепи следует разрядить ее на заземленный корпус двигателя. Для обмоток на номинальные напряжения 3000 В и выше продолжительность разрядки для двигателей до 1000 кВт не менее 15 с и для электродвигателей мощностью более 1000 кВт — не менее 1 мин.

При ремонтах электродвигателей, связанных с переизолировкой активной стали, возникает необходимость проверить качество лаковой пленки после нанесения лака на листы и его запечки. Одним из показателей служит сопротивление постоянному току изоляции из отлакированных листов стали. В этом случае измерение сопротивления производят на приспособлении, изображенном на рис. 5.


Рис. 5. Приспособление для измерения сопротивления изоляции листов активной стали.
Пачку из 20 отлакированных листов 1 сжимают между электродами 2 и 3. Площадь каждого электрода составляет 1 дм2. Под электродом 3 устанавливают изолирующую подкладку 4. Листы сжимают рычагом с подвешенным на его конце грузом 5, который подбирается таким образом, чтобы давление, оказываемое на пачку листов, составляло 6000 Н (удельное давление 0,6 МПа). При указанных условиях сопротивление изоляции должно быть не менее 50 Ом.

Источником питания могут являться аккумуляторная батарея или выпрямитель напряжением 10—15 В. Потенциометром 6 устанавливают ток 0,1 А, при этом показание вольтметра должно быть не менее 5 В. Для предохранения амперметра от повреждения в цепь включают защитное сопротивление 7. Значение защитного сопротивления R, Ом, выбирают таким образом, чтобы при случайном коротком замыкании электродов 2 и 3 ток, проходящий через амперметр, не превосходил предельного значения, на которое рассчитан амперметр, т. е.

где U — напряжение источника питания, В; /амп — предельный ток амперметра, А.
При эксплуатации крупных электродвигателей под влиянием магнитной асимметрии или по некоторым другим причинам в замкнутом контуре (подшипники, вал, фундаментная плита), указанном на рис. 6, может возникнуть электрический ток. Этот ток разъедает шейки вала и вкладыши подшипников, из-за чего работа подшипников ухудшается и они быстро выходят из строя.

Рис. 6. Контур подшипниковых токов.
Для предотвращения возникновения этих токов указанный замкнутый контур разрывают установкой изолирующей текстолитовой или гетинаксовой прокладки между фундаментной плитой и подшипниковой стойкой. Болты, крепящие стойку к плите, изолируют изоляционными втулками и шайбами. При принудительной смазке подшипников во фланцах маслопровода устанавливают изоляционные прокладки и втулки.
В процессе эксплуатации и при ремонте установленную изоляцию необходимо периодически проверять — измерять сопротивления изоляции между подшипниковой стойкой и фундаментной плитой при полностью собранном маслопроводе мегаомметром на 500—1000 В.
Как видно на рис. 6, сопротивление изоляции не может быть проверено в собранном электродвигателе, так как изолированному подшипнику параллельна цепь, составленная валом, другим неизолированным подшипником и фундаментной плитой. Для измерения необходимо приподнять вал и заложить прокладку из электрокартона между шейкой вала и вкладышем неизолированного подшипника. Значение сопротивления не является нормируемым, но должно находиться на достаточно высоком уровне — не ниже 1 МОм, так как оно очень быстро и значительно снижается при загрязнении прокладок.
При ремонте, а также при эксплуатации крупных двигателей, температуру нагрева которых измеряют заложенными в обмотку термодетекторами, необходимо периодически измерять сопротивление изоляции этих термодетекторов, так как нарушение ее может представить серьезную опасность для обслуживающего персонала. Проверку производят мегаомметром на 250 В. Значение сопротивления не является нормируемым; показательным является его сравнение с результатами предыдущих измерений.

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

При ремонте и эксплуатации двигателей измерение температуры обмотки и других частей двигателя, а также охлаждающего воздуха производят термометрами расширения, термопарами и терморезисторами. Для измерения температуры обмоток часто пользуются и косвенным методом — измерением их сопротивления при постоянном токе.
Термометры расширения применяют для измерения температуры доступных мест двигателя — поверхностей корпуса и подшипников, лобовых частей обмотки и др., а также для измерения температуры окружающей среды и окружающего воздуха, поступающего и выходящего из двигателя. Применяют как ртутные, так и спиртовые термометры. Вблизи сильных переменных магнитных полей следует применять только спиртовые термометры. Применение ртутных термометров в этих случаях противопоказано, так как в ртути наводятся вихревые токи, искажающие результаты замера.
Следует отдать предпочтение так называемым палочным толстостенным термометрам, имеющим цилиндрическую форму и сравнительно небольшие размеры по высоте и, что важно, по диаметру (6—7 мм). Это делает возможным установку этих термометров в труднодоступных местах. Не рекомендуется пользоваться хвостовыми термометрами, где ртуть или спирт помещаются в тонком длинном резервуаре на его конце. Эти термометры дают правильные показания только при полном погружении резервуара в среду, температура которой измеряется (масло, вода, воздух), а не при прикосновении к твердым предметам (корпус двигателя, лобовые части обмотки и др.).
Для лучшей передачи тепла от нагретого места к термометру резервуар термометра обертывают фольгой (очень тонким листовым алюминием или свинцом) таким образом, чтобы получился комок, который затем плотно прижимают к нагретому месту. Для теплоизоляции термометра поверх фольги накладывают слой ваты или войлока, но так, чтобы последний не попал между термометром и нагретой частью электродвигателя. При измерении температуры охлаждающего воздуха (охлаждающей среды) термометр следует поместить в закрытый металлический стаканчик, заполненный маслом и защищающий термометр от лучистой теплоты, испускаемой окружающими источниками тепла и самой испытываемой машиной, и от случайных потоков воздуха.
При измерении температуры наружной охлаждающей среды несколько термометров располагают в разных точках вокруг испытываемой машины на высоте, равной половине высоты машины, и на расстоянии 1—2 м от нее. За температуру охлаждающей среды принимают среднее арифметическое значение показаний этих термометров.
Термопары являются удобными и широко применяемыми датчиками (индикаторами) температуры. С их помощью можно измерять как температуру на поверхности нагретых тел, так и температуру труднодоступных мест двигателя в сердечниках стали и в пазовой части обмотки.
Термопару образуют две изолированные друг от друга проволоки из разных материалов; материалы выбирают в зависимости от значений измеряемой температуры. Для измерения температур в электрических машинах обычно применяют медно-константановые термопары, состоящие из медной и константановой проволок диаметром около 0,5 мм. Одна пара концов термопары спаяна между собой. Места спая обычно помещают в ту точку, где желают измерить температуру («горячий» спай), а другую пару концов подключают либо непосредственно к зажимам чувствительного милливольтметра с большим внутренним сопротивлением, либо к переходной сборке зажимов, от которой отходят медные проводники к измерительному прибору. В том месте, где не нагреваемый конец константановой проволоки соединяется с медным проводником (на клемме измерительного прибора или на переходной клемме), образуется так называемый «холодный» спай термопары.
На поверхности контакта двух металлов (константана и меди) возникает э. д. е., пропорциональная температуре в месте контакта, причем на константане образуется минус (—), а на меди плюс ( + ). Само собой понятно, что э. д. с. возникает как на «горячем», так и на «холодном» спае термопары, однако поскольку температуры этих спаев разные, то и значения э. д. с. различны, а так как в контуре, образованном термопарой и измерительным прибором, эти э. д. с. направлены навстречу друг другу, то милливольтметр всегда измеряет разность э. д. с. «горячего» и «холодного» спаев, которая соответствует разности температур.
Если «горячий» спай медно-константановой термопары нагреть до 100°С, а «холодный» поместить в среду, температура которой 0°С, то результирующая э. д. с. составит 4,16 мВ. При уменьшении разности температур э. д. с. будет снижаться пропорционально этой разности. Из этого следует, что э. д. с. медно-константановой термопары составляет 0,0416 мВ на ГС разности температур «горячего» и «холодного» спаев. В соответствии с этим можно отградуировать и шкалу милливольтметра непосредственно в градусах Цельсия.
Так как термопара фиксирует только разность температур между «горячим» и «холодным» спаями, то для определения абсолютной температуры «горячего» спая следует к показаниям термопары по милливольтметру (выраженным в градусах) прибавить температуру «холодного» спая, обычно замеряемую термометром.
Термопары изготовляют обычно своими силами: проволоки скручивают между собой на длине 6—8 мм и после их тщательной зачистки спаивают чистым оловом (без кислоты) или сваривают.


Рис. 1. Сварка концов термопары.
а — процесс сварки; б — головка термопары; I — плоскогубцы с изолированными ручками; 2 — провода термопары; 3 — скрутка; 4 — угольный электрод.
При сварке (рис. 1,а) скрученные и зачищенные концы захватывают плоскогубцами с изолированными ручками. Напряжение от трансформатора 12 В подводят к губке плоскогубцев и к угольному электроду. При прикосновении электрода к скрутке концы проволок оплавляются, образуя шариковую головку, как это указано на рис. 1,6. При надобности эту головку в горячем виде проковывают легкими ударами молотка, при этом образуется плоская лопатообразная головка термопары. Та-
кие термопары применяют для измерения температуры сердечников стали, для чего листы сердечника раздвигают ножом и в образовавшуюся щель плотно вставляют головку термопары. Место закладки термопары должно быть надежно защищено от конвекционных потоков воздуха.
Для измерения температуры в пазовой части обмотки термопары закладывают при двухслойной обмотке между  верхними и нижними сторонами катушек, а при однослойной обмотке — между клином и катушкой. В первом случае при укладке обмоток термопару помещают в межслойную пазовую прокладку, во втором случае — в желобок, вырезанный во внутренней стороне пазового клина.
Часто в двигатель закладывают несколько термопар для измерения температуры различных частей двигателя, которые поочередно подключают к одному милливольтметру с помощью переключателя или штепсельной вилки (рис. 2). Конструкция переключателя должна обеспечивать отсутствие контакта между термопарами при переходе от одной термопары к другой; в противном случае стрелка милливольтметра будет испытывать сильные толчки.

*1 В соответствии с ГОСТ 11828-75 для электрических машин мощностью до 10 кВт (кВ-А) устанавливают один термометр или температурный индикатор, для машин мощностью от 10 до 100 кВт (кВ-А) включительно — не менее двух, для машин от 100 до 1000 кВт (кВ А)— не менее трех и для машин мощностью свыше 1000 кВт (кВ-А)— не менее четырех.*


Рис. 2. Измерение температуры термопарами.
а — по схеме с переключателем; б — по схеме со штепсельной вилкой.
Порядок градуировки милливольтметра с термопарами имеет существенное значение для точности измерения. Необходимо помнить, что отклонение стрелки милливольтметра зависит от внутреннего сопротивления и падения напряжения в контуре термопары. Когда милливольтметр подсоединяют только к одной термопаре, его градуировка не вызывает затруднений и производится, как указано ниже. Если к милливольтметру подсоединяют через переключатель несколько термопар, которые часто имеют разные внутренние сопротивления, градуировка усложняется. В этом случае приходится либо градуировать милливольтметр с каждой термопарой в отдельности и строить для каждой термопары свою градуировочную кривую, либо уравнивать внутренние сопротивления термопар, чтобы получить единую градуировку.
Для равенства сопротивления всех термопар, подключаемых к одному милливольтметру, необходимо изготовить их из одной партии проволоки с равной длиной концов. Помимо этого, термопары должны быть выверены между собой. Для взаимной выверки все «горячие» спаи термопар погружают в закрытый сосуд с нагретым до 70—80°С трансформаторным маслом и быстрым переводом ручки переключателя определяют, какая из термопар дает максимальные показания на милливольтметре; эту термопару принимают за контрольную. Вслед за тем концы термопар, показания от которых меньше, укорачивают таким образом, чтобы показания от них на милливольтметре сравнялись с показанием контрольной термопары.
Для градуировки термопар с милливольтметром их «горячие» спаи погружают в сосуд с маслом, нагретым до 100°С. Для измерения температуры масла в сосуд погружают также термометр. «Холодные» спаи термопар погружают в сосуд с тающим льдом. При медленном охлаждении масла через каждые 5—10°С записывают показания милливольтметра до тех пор, пока температура масла в сосуде не сравняется с температурой охлаждающего воздуха. На основании записей температуры масла и показаний милливольтметра строят градуировочную кривую.
Для обеспечения точности измерения необходимо выбирать милливольтметр с большим внутренним сопротивлением. Желательно, чтобы внутреннее сопротивление милливольтметра не менее чем в 100 раз превышало сопротивление контура термопары, включая соединительные провода. Кроме того, необходимо обеспечить хорошие контакты во всем контуре, так как при плохих контактах показания милливольтметра снижаются.
Когда при измерении стремятся определить не абсолютную температуру в тех местах, где заложены «горячие» спаи термопар, а превышение их температуры над температурой охлаждающего воздуха, целесообразно поместить «холодные» спаи термопар в зоне или камере охлаждающего воздуха. В этом случае показания милливольтметра непосредственно определяют искомое превышение температуры и поправку на температуру «холодного» спая не вносят. Иногда применяют искусственные схемы для непосредственного определения абсолютных температур без необходимости внесения поправок на температуру «холодного» спая.
Одна из таких схем представлена на рис. 3; медные провода всех термопар обозначены жирными линиями, а константановые — более тонкими. В схему включена дополнительная (контрольная) термопара, спай которой помещен в сосуд с тающим льдом. По приведенной схеме проверяют также термопары при сомнениях в правильности их показаний. Для этого в сосуд наливают масло и помещают в него термометр. При медленном нагревании масла показание милливольтметра будет равно нулю, когда термометр покажет температуру, совпадающую с температурой «горячего» спая проверяемой термопары, заложенной в двигатель.


Рис. 3. Схема измерения температуры с контрольной термопарой.

Терморезисторы.

**Способ измерения температуры с помощью терморезисторов** основан на общеизвестном свойстве металлов — увеличении их сопротивления при постоянном токе при повышении температуры. Способ удобен тем, что позволяет определить непосредственно абсолютную температуру нагретого места.
Терморезисторы представляют собой тонкую медную проволоку, намотанную на полоске или цилиндрическом основании. Сопротивление проволоки при постоянном токе при температуре 0°С обычно подбирают равным 53 Ом. Значения сопротивления этой проволоки при других температурах приведены в табл. 1.
Сопротивление измеряют либо мостом постоянного тока, либо к сопротивлению подключают постоянное или выпрямленное напряжение и специальным точным прибором магнитоэлектрической системы — логометром (ЛПБ-46) измеряют ток. Шкала логометра градуируется непосредственно в градусах Цельсия. Напряжение питания составляет 4 В. В отличие от схемы с термопарами плохие контакты в контуре терморезисторов увеличивают показания логометра.
Терморезисторы закладывают в различных частях двигателя и поочередно подключают к логометру переключателем. Этот переключатель отличается от применяемого при измерении термопарами тем, что в нем при переходе с одного контакта на другой происходит разрыв цепи питания. В противном случае в момент замыкания и размыкания контактов переключателя имели бы место броски тока, вредно влияющие на подвижную систему логометра.
Таблица 1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Температура, °С | Сопротивление, Ом | Температура, \*С | Сопротивление. Ом |
| 0 | 53,00 | 75 | 69,89 |
| 5 | 54,13 | 80 | 71,02 |
| 10 | 55,25 | 85 | 72,15 |
| 15 | 56,38 | 90 | 73,27 |
| 20 | 57,51 | 95 | 74,40 |
| 25 | 58,63 | 100 | 75,53 |
| 30 | 59,76 | 105 | 76,65 |
| 35 | 60,88 | 110 | 77,78 |
| 40 | 62,01 | 115 | 78,90 |
| 45 | 63,14 | 120 | 80,03 |
| 50 | 64,26 | 125 | 81,16 |
| 55 | 65,39 | 130 | 82,28 |
| 60 | 66,52 | 135 | 83.41 |
| 65 | 67,64 | 140 | 84,54 |
| 70 | 68,77 | 150 | 86,79 |

Для правильной работы установки теплоконтроля необходимо, чтобы не только сопротивления термоиндикаторов были одинаковы, но и совпадали между собой сопротивления соединительных проводов между логометром и термоиндикатором (терморезистором). Для этого в схеме установки предусматривают катушки с эталонным и подгоночным сопротивлениями.
Обычно логометры рассчитаны на то, что сопротивление соединительных проводов равно 5 Ом; к этому значению и подгоняют сопротивление соединительных проводов.
По конструкции терморезисторы могут быть плоские, предназначаемые для закладки в пазы, и цилиндрические — для измерения температуры жидкости, газов, а также для установки во вкладыши подшипников. Терморезисторы первого вида наматывают на текстолитовую
пластинку и защищают оболочкой из бакелизированной бумаги и микашелка. Терморезисторы второго вида наматывают на медный или текстолитовый стержень и закладывают в герметический металлический футляр.
На рис. 4 приведена заводская схема установки терморезисторов для крупного двигателя.
Определение температуры обмоток по их сопротивлению постоянному току основано на упомянутом выше свойстве металлов изменять свое сопротивление в зависимости от температуры.

Рис. 4. Схема включения логометра и расположение термометров сопротивления.
1 — измерение температуры стали; 2 — измерение температуры обмотки; 3 — доска зажимов термометров сопротивления; 4 — панель с эталонной и подгоночными катушками: 5 — эталонная катушка; 6 — подгоночные катушки; 7 — логометр; 8 — переключатель; 9 — к источнику постоянного тока.
Преобразуя приведенную ранее формулу, определяющую эту зависимость, можно записать:


Формула относится к обмоткам, изготовленным из меди. Для алюминиевых обмоток число 235 в формуле следует заменить на 245. Под охлаждающей средой для двигателя подразумевается продуваемый через него или окружающий его воздух.
Следует учитывать, что от момента отключения двигателя до начала замеров сопротивления его обмотки проходит некоторое время, в течение которого обмотка успевает несколько остыть. Поэтому для правильного определения температуры обмоток в момент отключения, т. е. в рабочем состоянии двигателя, поступают следующим образом.
После отключения машины по возможности через равные (точно измеряемые по секундомеру) промежутки времени производят несколько (но не меньше трех) измерений сопротивления. Промежуток времени между измерениями не должен превышать времени, прошедшего от момента выключения машины до момента проведения первого измерения сопротивления.
Первое измерение сопротивления обмотки производят не позднее чем через 1 мин от момента отключения для машины мощностью до 10 кВт, через 1,5 мин — для машин мощностью 10—100 кВт и через 2 мин — для машин мощностью выше 100 кВт.
Если первое измерение сопротивления выполнено не более чем через 15—20 с от момента выключения, то за сопротивление принимают наибольшее из первых трех измеренных. Если первое измерение произведено позднее чем через 20 с после отключения машины, то вносят поправку на остывание. Для этого производят шесть — восемь измерений сопротивления и строят график изменения сопротивления обмотки при остывании (рис. 6).

Рис. 6. График изменения сопротивления обмотки при остывании.
По оси абсцисс откладывают (точно в масштабе) время, прошедшее от момента выключения машины до первого измерения, и промежутки между измерениями (с), а по оси ординат — соответствующие измеренные сопротивления и получают кривую зависимости (изображена сплошной линией). После этого продолжают кривую влево, сохраняя характер ее изменения, до пересечения с осью ординат (изображена пунктирной линией). Отрезок на оси ординат от начала координат до точки пересечения с пунктирной кривой с достаточной точностью определит искомое сопротивление обмотки двигателя.
Следует учитывать, что при определении температуры обмоток по способу замера их сопротивления определяется средняя температура обмоток. В действительности же при работе двигателя отдельные зоны обмоток, как правило, имеют разную температуру; максимальная температура обмоток, определяющая сохранность изоляции, всегда несколько превышает среднее значение.

**Особенности измерения температуры вращающихся частей электрических машин.**

Температура вращающихся тел измеряется датчиками температуры, которые могут соединяться с индикатором через скользящий электрический контакт или бесконтактным способом. Возможно использование измерителей разового действия.
При использовании скользящего электрического контакта в качестве термопреобразователей используются термопары, термометры сопротивления или терморезисторы, которые через контактные кольца и щетки или жидкометаллические контакты соединяются с измерительными приборами. При использовании скользящего контакта в зоне последнего возникает коммутационная ЭДС. Сопротивление контакта сильно зависит от температуры, влажности, вибрации, скорости вращения и других факторов. В меньшей степени влияние указанных факторов проявляется в случае применения жидкометаллических контактов.
Скользящие контакты должны подвергаться испытаниям как в процессе изготовления, так и при эксплуатации, что затрудняет их использование. Кроме того, в ряде модификаций электрических машин нет места для установки дополнительного щеточно-контактного узла.
Бесконтактная передача информации с термопреобразователя на измерительное устройство может осуществляться с использованием индуктивной, емкостной или СВЧ связи. Широкое распространение получили бесконтактные методы измерения температуры, основанные на измерении теплового излучения ротора.
Индукционная связь может осуществляться с помощью вращающегося трансформатора — воздушного или с ферромагнитным сердечником. Вращающаяся катушка соединена с термометром сопротивления или терморезистором, а неподвижная включена в мостовую измерительную схему. Питание моста осуществляется от источника переменного тока.
В случае применения емкостной связи одна из обкладок конденсатора (обычно цилиндрического) вращается, а другая неподвижна. Время заряда или разряда конденсатора и его ток зависят от сопротивления термопреобразователя, соединенного с вращающейся обкладкой конденсатора.
В качестве термопреобразователей применяют и датчики с сердечниками из материалов, точка Кюри которых соответствует предельно допустимой температуре контролируемого элемента вращающегося ротора электрической машины.
СВЧ-связь применяется редко и осуществляется с помощью миниатюрных СВЧ-резонаторов, устанавливаемых на роторе. При изменении температуры в результате теплового расширения изменяются линейные размеры резонатора и его резонансная частота, что улавливается неподвижными приемниками частоты (частотомеры). Приемник может иметь шкалу в градусах либо может быть снабжен специальной градуировочной таблицей или кривой, которые позволяют по известному значению частоты определять температуру.
Использование теплового излучения вращающихся частей электрических машин для измерения их температуры стало возможным после разработки приемников излучения, имеющих длину волны около 5 мкм, что соответствует области излучения слабонагретых тел с температурами около Ю0°С (в частности, на базе сернистого свинца). Для бесконтактного измерения температуры вращающихся частей можно использовать стандартные фотоэлектрические пирометры и тепловизоры, которые серийно выпускаются промышленностью.

ИЗНАШИВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Изнашивание — это процесс постепенного изменения размеров и формы тела при трении, проявляющийся в отделении с поверхности трения материала и в его остаточной деформации. В электрических машинах происходит механическое, молекулярно-механическое, коррозионно-механическое и другие виды изнашивания.
Механическое изнашивание существенно не отражается на физических и химических свойствах материала. При молекулярно-механическом изнашивании механическое воздействие сопровождается одновременным воздействием молекулярных или атомарных сил на поверхности деталей; такое изнашивание происходит, например, в подшипниках качения при высоких контактных давлениях шарика на дорожку качения кольца и сопровождается переносом материала с одной поверхности на другую. Коррозионно-механическое изнашивание вызывается трением поверхностей, вступивших в химическое взаимодействие со средой; его подразделяют на окислительное и фретинг-коррозию. Окислительное изнашивание возникает при наличии на поверхностях трения оксидных пленок, образовавшихся в результате взаимодействия материала деталей с кислородом. Фретинг-коррозия имеет место при малых колебательных движениях; этот вид изнашивания характерен для поверхностей деталей в неподвижных соединениях, воспринимающих вибрационные нагрузки (например, поверхности колец подшипников качения, соприкасающиеся с валом и корпусом, заклепочные соединения). Фретинг-коррозия может образовываться как при сухом трении, так и при работе в условиях смазки.
Абразивное изнашивание является разновидностью механического изнашивания. Оно происходит в результате режущего и царапающего действия твердых частиц, которые находятся между трущимися поверхностями. Различают газоабразивное и гидроабразивное изнашивание; последнее возникает в результате воздействия твердых частиц, увлекаемых потоком газа или жидкости.
Усталостное изнашивание — разновидность механического изнашивания. Оно является следствием многократного деформирования микрообъемов материала, приводящего к возникновению трещин и отделению с поверхности слоев материала.
Эрозионное изнашивание происходит под воздействием потока жидкости или газа на поверхность детали. Электроэрозионное изнашивание связано с появлением искровых разрядов, при которых частицы металла переносятся с анода на катод и частично рассеиваются в окружающем пространстве. Разряды возникают при замыкании и размыкании контактов электрических приборов, а также между щеками и коллектором или контактными кольцами.
В машинах некоторые детали при сохранении геометрических размеров и формы становятся непригодными к дальнейшей работе в результате потерн упругости. Наиболее часто выходят из строя по этой причине щеточные пружины токосъемного устройства.
Надежность электрических машин в значительной степени зависит от состояния изоляции обмоток. Основной характеристикой изоляции является ее электрическая прочность, а также теплопроводность, механическая прочность и другие свойства.
Изоляция разрушается в результате нагрева, механических усилий (давление, вибрация и удары), влияния влаги, агрессивных сред и других факторов. В высоковольтных машинах существенное значение имеет воздействие на их поверхности электрического поля. Необратимые изменения структуры и химического состава изоляции под действием перечисленных факторов вызывают ее старение. Процесс ухудшения свойств изоляции в результате старения называется износом. В ряде случаев возможно повреждение изоляции, не связанное с износом: продавливание, прорезание ее острыми кромками металлических деталей, образование трещин вследствие значительных напряжений при изгибе и т. п. Такие местные дефекты часто приводят к пробою изоляции задолго до появления существенных признаков старения.
Отказы машин постоянного тока часто происходят вследствие износа коллектора и щеток. Их механическое изнашивание зависит от давления щеток на коллектор, вибрации, биения коллектора, скорости перемещения поверхности коллектора относительно щеток и т. д. При нарушении постоянства скользящего контакта в результате биения коллектора искрение щеток увеличивается, увеличивается износ и обгорание щеток и коллекторных пластин. Коррозионно-механическое изнашивание зависит от состава и влажности окружающего воздуха, наличия в среде активных газов, образования оксидной пленки (политуры) на поверхности коллектора и т. д. Пленка снижает скорость изнашивания. На износ коллектора влияет также плотность тока под щеткой, нарушение коммутации (повышенное искрение), сопротивление переходного контакта между щеткой и коллектором, марка щетки и материал, из которого изготовлены пластины коллектора.

В процессе эксплуатации происходит износ электротехнического оборудования. Условно по характеру физических процессов, лежащих в его основе, можно выделить три вида износа: механический, электрический и моральный.
**Механический износ** является следствием длительных и многократных знакопостоянных или знакопеременных механических воздействий на отдельные узлы и детали электрических машин. В результате этих воздействий их первоначальные форма и качество ухудшаются. В электрических машинах подвержены износу трущиеся детали — коллектор, контактные кольца, щетки, подшипники шейки валов, а также бандажи, пружины и др. Кроме того в ходе эксплуатации истирается изоляция в местах выхода проводников обмотки из пазов электрических машин и изоляция смежных витков обмоток трансформаторов.

 К механическому износу приводит и абразивное истирание узлов и деталей электрических машин под влиянием твердых частиц (пыли), содержащихся в окружающей среде.   **Электрический износ** приводит к  восстанавливаемой потере электроизоляционными материалами своих изоляционных свойств. Износ изоляции происходит под действием четырех основных факторов: тепловых, электрических, механических и окружающей среды. С повышением температуры уменьшается механическая прочность твердой изоляции и коэффициент теплопередачи, при тепловом расширении изоляции ослабляется ее структура, возникают внутренние термомеханические напряжения, которые особенно велики в жестко связанных изоляционных системах со значительно отличающимися коэффициентами теплового расширения. В процессе износа в изоляции могут накапливаться продукты ее распада, приводящие к появлению газовых пузырей и проводящих примесей, которые снижают ее пробивное напряжение. Тепловое воздействие делает твердую изоляцию уязвимой для механических воздействий.  Электрические воздействия на изоляцию определяются уровнем напряжения оборудования. Наибольшее влияние на износ оказывают коммутационные и атмосферные перенапряжения, которые приводят к неравномерному распределению напряжения вдоль катушки (обмотки) и могут вызвать ее пробой. Неравномерное распределение напряжения характерно и для обмоток электрических машин, питаемых от преобразователей частоты с поворотно-импульсной модуляцией. Условия работы изоляции ухудшаются вследствие атмосферных воздействий, в частности влаги и вредных химических примесей, содержащихся в атмосфере. Наличие влаги в изоляции может существенно уменьшить механическую прочность твердой изоляции, усилить процессы ионизации. ускорить ее химическое старение.
Механические воздействия появляются из-за вибрации оборудования, протекания переменных токов по его обмоткам, приводящим к возникновению знакопеременных электродинамических усилий, а также из-за центробежных сил в подвижных и вращающихся частях. Причем механические усилия, действующие на твердую изоляцию в аварийных режимах (как правило, в режимах короткого замыкания) могут в сотни раз превосходить усилия, действующие в нормальных режимах.
В результате этих воздействий может происходить пробой изоляции, а на частях оборудования, не находящихся в нормальных условиях под напряжением, могут появляться высокие электрические потенциалы. Устранение этого вида износа, как правило, требует капитального ремонта электрического и электромеханического оборудования.
**Моральный износ** обусловлен появлением в эксплуатации нового оборудования, характеризующегося более высокими технико-экономическими показателями (КПД, производительность, надежность работы и т.д.) и меньшей стоимостью. В этих условиях дальнейшее использование устаревшего оборудования является нецелесообразным из-за повышенных издержек, приводящих к росту стоимости готовой продукции по сравнению с произведенной на новом, технически более совершенном оборудовании. Только изменением конструкции и улучшением технических показателей действующего оборудования при капитальном ремонте в процессе модернизации можно продлить сроки его экономически оправданной эксплуатации.
Приведенная классификация износов является в известной мере условной, так как все три типа износа нельзя рассматривать в отрыве друг от друга. Например, на механический износ токоведуших частей сильное влияние оказывают плотность тока, температура и влажность окружающей среды; на электрический износ изоляции сильное влияние оказывают механические факторы (вибрация, термомеханические усилия, абразивный износ). На ухудшение технических характеристик электрических машин и, следовательно, на их моральный износ оказывают влияние степень их механического и электрического износа.
Тем не менее анализ каждого вида износа позволяет более полно выявить физические факторы, лежащие в основе этих процессов, для выработки мер по ослаблению их влияния на работу машин.
Рассмотрим наиболее характерные неисправности электрических машин, приводящие к отказу или выходу машины из строя, которые могут наблюдаться при проведении работ по их техническому обслуживанию.

ИСКРЕНИЕ НА КОЛЛЕКТОРЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

При работе машины щетка и коллектор образуют скользящий контакт, под которым наблюдается более или менее интенсивное искрение. Лишь в редких случаях искрение отсутствует, а у тяговых электрических машин, работающих в исключительно тяжелых условиях, искрение есть практически всегда. Искрение вызывает эрозию коллектора, повышенный износ щеток и может даже вызвать их повреждение, а дальнейшую работу машины сделать невозможной.
Необходимо отметить, что стоимость ремонта в эксплуатации коллекторных машин, связанная с заменой щеток, проточкой и шлифовкой коллекторов, очень велика и составляет, например у тяговых двигателей локомотивов, за один год около 1/3 стоимости самой машины. Поэтому устранение искрения или хотя бы уменьшение его интенсивности может дать существенный технико-экономический эффект.
Искрение — результат разрыва тока. Какие же причины могут вызвать его? Эти причины можно условно разделить на четыре основные группы:
а)  механические — из-за неровности поверхности коллектора, выступающих пластин или межламельной изоляции, вибрации или плохой притирки щеток и их перекоса (заедания) в гнездах щеткодержателей. Следует помнить, что окружная скорость коллекторов современных тяговых двигателей достигает ик = 55 м/с, что предъявляет исключительно высокие требования к механике скользящего контакта;
б)     физико-химические, вызванные неудовлетворительным состоянием контакта щетка — коллектор. Для нормальной работы этого контакта, который представляют в виде находящихся в динамическом равновесии зернышек- контактов, непрерывно сгорающих и вновь образующихся, необходимы определенная температура, влажность, наличие кислорода и т. п. При этих условиях происходит процесс электролиза. Мельчайшие частицы графита, сгорая в кисло роде воздуха, образуют на поверхности коллектора тончайший орехового цвета слой окисленной пленки — политуры, предохраняющей» как смазка, коллектор и щетки от истирания. Если щетка скользит по коллектору при отсутствии тока, то политура не образуется, и происходит быстрый износ коллектора и щеток. Вот почему при транспортировке локомотива в «холодном» состоянии на длительное расстояние необходимо снять щетки с тяговых двигателей;

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Степеньискре-кия | Характеристика степени искрения | Состояние коллектора и щеток |
| 1 | Отсутствие искрения (темная коммутация) | Отсутствие почернения на коллекторе и нагара на щетках |
| 1  1/4 | Слабое точечное искрение под небольшой частью щетки |   |
| 1  1/2 | Слабое искрение под большей частью щетки | Появление следов почернения на коллекторе, легко устраняемых протиранием поверхности коллектора бензином, а также следов нагара на щетках |
| 2 | Искрение под всем краем щетки. Допускается только при кратковременных толчках нагрузки и перегрузке | Появление следов почернения на коллекторе, не устраняемых протиранием поверхности коллектора бензином, а также следов нагара на щетках |
| 3 | Значительное искрение под всем краем щетки с наличием вылетающих искр. Допускается только для моментов прямого (без реостатных ступеней) включения : или реверсирования машин, если при этом коллектор и щетка остаются в состоянии, пригодном для дальнейшей работы | Значительное почернение на коллекторе, не устраняемое протиранием поверхности коллектора бензином, а также подгар и разрушение щеток |

в)  электромагнитные, когда происходит разрыв тока в секции, присоединенной к двум соседним коллекторным пластинам, по которым скользит щетка;
г)  потенциальные, вызванные повышением напряжения между соседними коллекторными пластинами. Такое искрение может перерасти в круговой, огонь.

Все эти причины, в конечном счете, связаны с вращением якоря и коллектора, во время которого секция переключается из одной параллельной ветви в другую. Во время этого переключения секция накоротко замыкается щеткой. А так как направление тока в параллельных ветвях по обе стороны от щетки противоположное, то ток в секции во время закорачивания ее щеткой меняет направление на обратное. Этот процесс носит название коммутации, а секция называется коммутируемой. Однако в более широком смысле слова под коммутацией понимают все явления и процессы, возникающие под щетками.
Поэтому, несмотря на различные причины, вызывающие искрение на коллекторе, говорят, что коммутация хорошая, если искрение очень слабое или его совсем нет. Если же искрение интенсивное, то говорят, что коммутация плохая.
Согласно ГОСТ 183—74, качество коммутации оценивают степенью искрения под сбегающим краем щетки, из-под которого выходят пластины коллектора при его вращении. Баллы степени искрения приведены в таблице.
В соответствии с ГОСТ 2582—81 — «Машины электрические вращающиеся тяговые», который распространяется на все электрические машины рельсового или безрельсового транспорта, коммутацию считают удовлетворительной, если в предусмотренных режимах испытаний не возникает остаточных деформаций или механических повреждений коллектора и щеткодержателей и они пригодны для дальнейшей работы без очистки или какого-либо исправления, а также если степень искрения не превышает 1  1/2 балла.

ИСПОЛНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПО СПОСОБАМ ЗАЩИТЫ ОТ ВЛИЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

**Исполнение электрических машин по способам защиты от влияния окружающей среды (по ГОСТ 17494-72 и ГОСТ 14254-69)**
Характеристики степеней защиты персонала от соприкосновения с токоведущими или движущимися частями, находящимися внутри оболочки, а также степеней защиты встроенного в оболочку оборудования от попадания твердых посторонних тел и  обозначения этих характеристик соответствуют указанным ниже:
0 — Отсутствует защита персонала от возможности соприкосновения с токоведущими или движущимися частями внутри оболочки, а также оборудования от попадания твердых посторонних тел.
1 — Защита от случайного соприкосновения большого участка поверхности человеческого тела с токоведущими или движущимися частями внутри оболочки. Отсутствует защита от преднамеренного доступа к этим частям. Защита оборудования от попадания крупных твердых посторонних тел диаметром не менее 52,5 мм.
2 — Защита от возможности соприкосновения пальцев с токоведущими или движущимися частями внутри оболочки. Защита оборудования от попадания твердых посторонних тел среднего размера диаметром не менее 12,5 мм.
3 — Защита от соприкосновения инструмента, проволоки или других подобных предметов, толщина которых превышает 2,5 мм, с токоведущими или движущимися частям внутри оболочки. Защита оборудования от попадания мелких твердых посторонних тел диаметром не менее 2,5 мм.
4 — Защита от соприкосновения инструмента, проволоки или других подобных предметов, толщина которых превышает 1 мм, с токоведущими или движущимися частями внутри оболочки. Защита оборудования от попадания мелких твердых посторонних тел толщиной не менее 1 мм.
5 — Полна» защита персонала от соприкосновения с токоведущими или движущимися частями, находящимися внутри оболочки. Защита оборудования от вредных отложений пыли.
6 — Полная защита персонала от соприкосновения с токоведущими или движущимися частями, находящимися внутри оболочки, и полная защита оборудования от попадания пыли.
Характеристики степеней защиты электрического оборудования расположенного внутри оболочки, от проникновения воды и обозначения этих характеристик соответствуют указанным ниже:
0 — Защита отсутствует.
1 — Защита от капель сконденсировавшейся воды: капли сконденсировавшейся воды, вертикально падающие на оболочку, не должны оказывать вредного воздействия на оборудование, помещенное в оболочку.
2 — Защита от капель воды: капли воды, падающие на оболочку, наклоненную под углом не более 15° к вертикали, не должны оказывать вредного действия на оборудование, помещенное в оболочку.
3 — Защита от дождя: дождь, падающий на оболочку, наклоненную под углом не более 60° к вертикали, не должен оказывать вредного действия на оборудование, помещенное в оболочку.
4 — Защита от брызг. Брызги воды любого направления, попадающие на оболочку, не должны оказывать вредного воздействия на оборудование, помещенное в оболочку.
5 — Защита от водяных струй. Вода, выбрасываемая через наконечник на оболочку в любом направлении при условиях, указанных в стандартах или технических условиях на отдельные виды электрооборудования, не должна оказывать вредного воздействия на оборудование, помещенное в оболочку.
6 — Защита от воздействий, характерных для палубы корабля (включая палубное водонепроницаемое оборудование). При захлестывании морской волной вода не должна попадать в оболочку при условиях, указанных в стандартах и технических условиях на отдельные виды электрооборудования.
7 — Защита при погружении в воду. Вода не должна проникать в оболочку при давлении и в течение времени, указанных в стандартах или технических условиях на отдельные виды электрооборудования. ,
8 — Защита при неограниченно длительном погружении в воду при давлении, указанном в стандарте или технических условиях на отдельные виды электрооборудования. Вода не должна проникать внутрь оболочки.
Условные обозначения степени защиты персонала состоят из следующих комбинаций цифр и букв в данной последовательности:
а) условных букв IP (начальные буквы International Protection);
б) условного цифрового обозначения степени защиты персонала от соприкосновения с движущимися частями оборудования и оборудования от попадания внутрь оболочки твердых посторонних тел;
в) условного цифрового обозначения степени защиты оборудования от проникновения внутрь оболочки воды.
Пример условного обозначения. Оболочка электрического оборудования, предохраняющая персонал от возможности соприкосновения пальцами с токоведущими или движущимися частями электрооборудования, предохраняющая оборудование от попадания твердых тел диаметром не менее 2,5 мм и предохраняющая от дождя, падающего на оболочку под углом не более 60° к вертикали: IP23.
Условные обозначения степеней защиты наносятся на оболочку изделия или на табличку с паспортными данными или в местах, указанных в стандартах или технических условиях на отдельные виды машин.

ИСПОЛНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПО СПОСОБУ МОНТАЖА

Условное обозначение конструктивных исполнений электрической машины по способу монтажа установлено в ГОСТ 2479-79 и состоит из латинских букв IM (или М) и четырех цифр.
Первая цифра устанавливает условные обозначения конструктивных исполнений электрической машины: 1 - на лапах с подшипниковыми щитами; 2 - на лапах с подшипниковыми щитами и с фланцем на щите; 3 - без лап с подшипниковыми щитами и с фланцем на щите; 4 - то же с фланцем на станине; 5 - без подшипниковых щитов; 6 - на лапах с подшипниковыми щитами и со стояковыми подшипниками; 7 - то же без Щитов; 8 - с вертикальным валом (кроме групп IM...4); 9 - специального исполнения.
Вторая и третья цифра устанавливают условные обозначения по способу монтажа: количество подшипниковых щитов, приподнятость лап, доступность фланца с обратной стороны и т.п. Эти обозначения выбираются по девяти таблицам ГОСТ 2479-79.
Четвертая цифра устанавливает условные обозначения исполнений концов вала электрической машины: 0 - без конца вала; 1 - с одним цилиндрическим концом вала; 2-е двумя цилиндрическими концами; 3-е одним коническим; 4-е двумя коническими; 5-е одним фланцевым концом вала; 6-е двумя фланцевыми концами; 7-е фланцевым концом вала на стороне привода и с цилиндрическим на противоположной стороне; 9 - прочие исполнения.
Примеры условных обозначений: IM1081 - электрической машины на лапах с подшипниковыми щитами, цилиндрический конец вала; IM2081 - тоже на лапах с фланцем на щите; IM3081- то же с фланцем на щите без лап; IM 4081 - то же, но с фланцем на станине.

ИСПОЛНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПО УРОВНЮ ШУМА

По уровню шума (звука) при работе электрические машины условно разделяются на следующие группы:
бесшумные машины — при D < 35 дБ по шкале А; малошумные машины — при 35 < D< 55 дБ; нормальные машины — при 55 < D < 75 дБ.
В целях уменьшения уровня общего шума машины воздействуют на его отдельные составляющие:
вентиляционный шум, возбуждаемый аэродинамическими факторами, причиной которого является создаваемое ротором и вентилятором турбулентное движение окружающего газа (воздуха, водорода);
магнитный шум, возбуждаемый колебаниями статора и ротора под воздействием электромагнитных сил;
механический шум, возбуждаемый вибрациями подшипников и других частей машины, включая их фундамент.
Уровень звука (шума) измеряется в децибелах (дБ).

ИСПЫТАНИЕ РУДНИЧНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ РЕМОНТЕ

Ремонт взрывозащищенного и рудничного электрооборудования, в частности асинхронных электродвигателей, производится по правилам, установленным руководящими техническими материалами — РТМ 16.689.169-75; эти правила предусматривают, что этот вид ремонта могут производить только специализированные ремонтные предприятия (цехи, участки), полностью подготовленные и оснащенные для этой цели, имеющие специальное разрешение на производство таких работ и зарегистрированные в органах Госгортехнадзора. Эксплуатационные службы предприятий могут своими силами производить ремонт взрывозащищенных электродвигателей только в ограниченном объеме (если ремонт не может повлечь за собой нарушения взрывозащиты) и при наличии специального разрешения. Разрешения выдаются при соблюдении ряда требований, в частности, если ремонтные службы оснащены необходимым испытательным оборудованием.
Особенностью испытаний взрывозащищенных (рудничных) электродвигателей при ремонте является обязательное проведение в процессе ремонта гидравлических испытаний взрывобезопасных оболочек по инструкции, приведенной в РТМ 16.689.169-75; испытания должны производиться на специальном стенде. Кроме того, программа электрических испытаний и нормы, которым должны удовлетворять отремонтированные двигатели, отличаются от вышеприведенных данных на общепромышленные электродвигатели и устанавливаются ремонтной документацией на конкретное изделие.